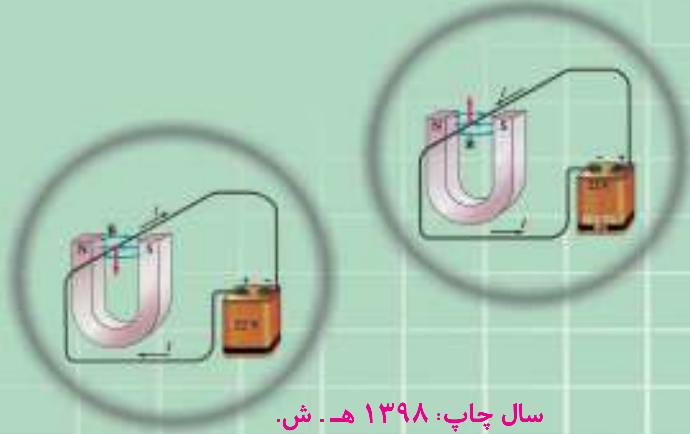
وزارت معارف



# فزیک

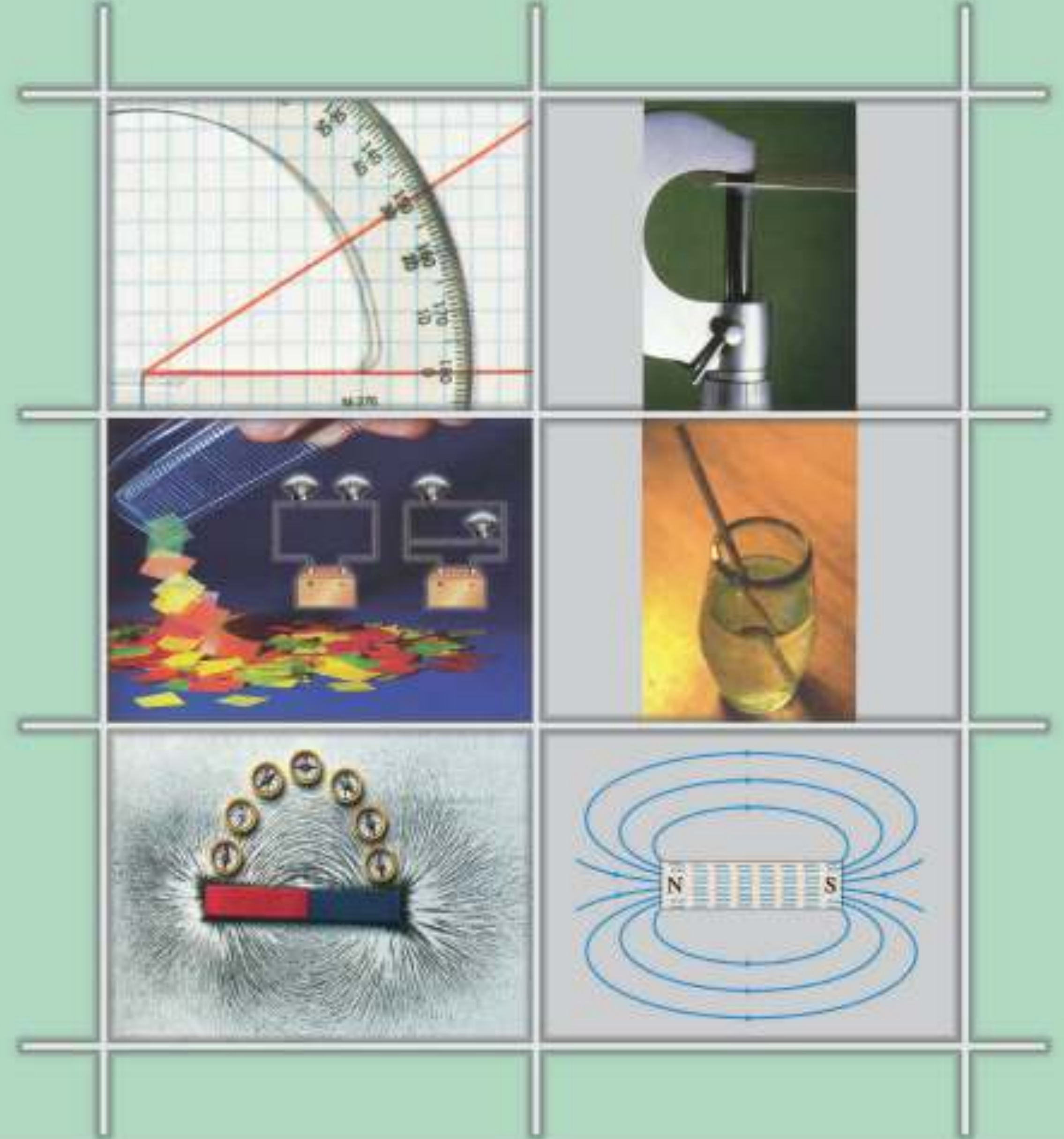
## صنف دهم





سال چاپ: ۱۳۹۸ هـ. ش.

فزیک صنف دهم





# سرود ملی

دا وطن افغانستـــان دی
کور د سولې کور د تورې
دا وطن د ټولـو کور دی
د پښتـون او هـزاره وو
ورسره عرب، گوجر دي
براهوي دي، قزلباش دي
دا هیـــواد به تل ځلیږي
په سینه کې د آسیـا به
نوم د حق مـو دی رهبـر

دا عـزت د هـر افغان دی
هر بچی یې قهرمـــان دی
د بـلـوڅـــو د ازبکـــو
د تـرکمنـــو د تـاجکـــو
پـامیریـان، نـورسـتـانیـان
هـم ایمـاق، هم پشه یان
لکه لمر پر شـنه آسـمان
لکـه زړه وي جـاویـــدان
وایـو الله اکبر وایو الله اکبر

بسم الله الرحمن الرحیم




# فزیک

*physics*

## صنف دهم

سال چاپ: ۱۳۹۸ هـ .ش.

# مشخصات کتاب

---

**مضمون:** فزیک

**مؤلفان:** گروه مؤلفان کتاب‌های درسی بخش فزیک نصاب تعلیمی

**ویراستاران:** اعضای دیپارتمنت ویراستاری و ایدیت زبان دری

**صنف:** دهم

**زبان متن:** دری

**انکشاف دهنده:** ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی

**ناشر:** ریاست ارتباط و آگاهی عامهٔ وزارت معارف

**سال چاپ:** ۱۳۹۸ هجری شمسی

**مکان چاپ:** کابل

**چاپ‌خانه:**

**ایمیل آدرس:** curriculum@moe.gov.af

---

## پیام وزیر معارف

اقرأ باسم ربک

سپاس و حمد بیکران آفریدگار یکتایی را که بر ما هستی بخشید و ما را از نعمت بزرگ خواندن و نوشتن برخوردار ساخت، و درود بی‌پایان بر رسول خاتم- حضرت محمد مصطفی ﷺ که نخستین پیام الهی بر ایشان «خواندن» است.

چنانچه بر همه‌گان هویداست، سال ۱۳۹۷ خورشیدی، به نام سال معارف مسمی گردید. بدین ملحوظ نظام تعلیم و تربیت در کشور عزیز ما شاهد تحولات و تغییرات بنیادینی در عرصه‌های مختلف خواهد بود؛ معلم، متعلم، کتاب، مکتب، اداره و شوراهای والدین، از عناصر شش‌گانه و اساسی نظام معارف افغانستان به شمار می‌روند که در توسعه و انکشاف آموزش و پرورش کشور نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. در چنین برهه سرنوشت‌ساز، رهبری و خانوادۀ بزرگ معارف افغانستان، متعهد به ایجاد تحول بنیادی در روند رشد و توسعه نظام معاصر تعلیم و تربیت کشور می‌باشد.

از همین‌رو، اصلاح و انکشاف نصاب تعلیمی از اولویت‌های مهم وزارت معارف پنداشته می‌شود. در همین راستا، توجه به کیفیت، محتوا و فرایند توزیع کتاب‌های درسی در مکاتب، مدارس و سایر نهادهای تعلیمی دولتی و خصوصی در صدر برنامه‌های وزارت معارف قرار دارد. ما باور داریم، بدون داشتن کتاب درسی باکیفیت، به اهداف پایدار تعلیمی در کشور دست نخواهیم یافت.

برای دستیابی به اهداف ذکرشده و نیل به یک نظام آموزشی کارآمد، از آموزگاران و مدرسان دلسوز و مدیران فرهیخته به‌عنوان تربیت کننده‌گان نسل آینده، در سراسر کشور احترامانه تقاضا می‌گردد تا در روند آموزش این کتاب درسی و انتقال محتوای آن به فرزندان عزیز ما، از هر نوع تلاشی دریغ نورزیده و در تربیت و پرورش نسل فعال و آگاه با ارزش‌های دینی، ملی و تفکر انتقادی بکوشند. هر روز علاوه بر تجدید تعهد و حس مسؤولیت پذیری، با این نیت تدریس راآغاز کنند، که در آیندۀ نزدیک شاگردان عزیز، شهروندان مؤثر، متمدن و معماران افغانستان توسعه یافته و شکوفا خواهند شد.

همچنین از دانش آموزان خوب و دوست داشتنی به مثابه ارزشمندترین سرمایه‌های فردای کشور می‌خواهم تا از فرصت‌ها غافل نبوده و در کمال ادب، احترام و البته کنجکاوی علمی از درس معلمان گرامی استفادۀ بهتر کنند و خوشه چین دانش و علم استادان گرامی خود باشند.

در پایان، از تمام کارشناسان آموزشی، دانشمندان تعلیم و تربیت و همکاران فنی بخش نصاب تعلیمی کشور که در تهیه و تدوین این کتاب درسی مجدانه شبانه روز تلاش نمودند، ابراز قدردانی کرده و از بارگاه الهی برای آن‌ها در این راه مقدس و انسان‌ساز موفقیت استدعا دارم.

با آرزوی دستیابی به یک نظام معارف معیاری و توسعه یافته، و نیل به یک افغانستان آباد و مترقی دارای شهروندان آزاد، آگاه و مرفه.

دکتور محمد میرویس بلخی

وزیر معارف

## پیشگفتار،

عصر ما عصر انکشافات و تحولات سریع ساینس و تکنالوژی است و بر طبق تخمین دانشمندان، در سالیان بعد، حجم اطلاعات علمی‌حتا در هر چند ماه دو برابر خواهد شد. واضح است که همگام با این تحولات، شیوه‌های زنده‌گی ما و نیازهای نسل جوان فردای ما، از جمله شیوه‌های آموزش علوم (فزیک) نیز در تغییر خواهد بود. در این شیوه‌ها تأکید برآن است تا شاگردان به آسانی و به‌طور سریع بیاموزند و بتوانند مهارت‌های لازم را در مراحل آموزش و حل مسأله‌ها به‌کار برند.

در این کتاب درسی سعی به‌عمل آمده است تا محتویات آن بر اساس روش آموزش فعال تألیف گردد. سه هدف دانشی، مهارتی و ذهنیتی در متن هر درس در محراق توجه مؤلفان قرار داشته و افزون برآن، حجم عناوین و محتویات کتاب بر مبنای پالیسی‌های تعلیمی‌و تربیتی دولت، پلان تعلیمی‌زمانی و مفردات طرح شده با معیارهای عمومی‌محتوایی و نگارشی قبول شده برای کتب درسی دورهٔ ثانوی افغانستان تنظیم و تدوین گردیده است. تلاش شده تا مطالب به گونهٔ ساده و روان مطرح شوند و با ادامهٔ فعالیت‌ها و ذکر مثال‌ها و سوال‌ها، مطالعهٔ آن به شاگردان آسان‌تر گردد.

از معلمان گرانقدر انتظار می‌رود تا با تجارب و توانایی‌های غنیی که دارند، در طراحی فعالیت‌های ابتکاری که می‌تواند در آموزش بیش‌تر شاگردان ممد واقع گردد و هم‌چنان از ابراز پیشنهادهای سازنده برای بهبود کیفی کتاب از هیچ‌گونه تلاش دریغ ننموده، ما را یاری رسانند. اطمینان می‌دهیم که ان شاءالله از نظرهای ارزشمند و اصلاحی شان برای رفع نواقص و اشتباهات احتمالی در چاپ بعدی این کتاب به گرمی‌استقبال خواهد شد.

در پایان از استادان محترمی‌که در نقد و اصلاح این کتاب زحمت کشیده اند سپاس‌گزاریم و از مسؤولان و کارکنان محترم کمپیوتر که درکار تایپ، دیزاین و صفحه آرایی کتاب، ما را همکاری مزید نموده اند ممنون و متشکریم.

**دیپارتمنت فزیک**

**ریاست عمومی‌انکشاف نصاب تعلیمی‌و تألیف کتب درسی**



# فهرست

**عنوان:** **صفحه**


**فصل اول:** فزیک چیست ............................................................ ۱

مقدمه بر فزیک............................................................................ ۲

تاریخچهٔ مختصر فزیک ............................................................۴

زبان فزیک ..........................................................................۵

**فصل دوم:** اندازه‌گیری، اندازه گیری چیست؟........................................ ۹-۱۰

سیستم واحدات (SI) ...........................................................۱۵

اشتباه در اندازه گیری ..........................................................۲۱

تحلیل و تجزیهٔ ابعاد ...........................................................۲۲

**فصل سوم:** نور و خواص نور........................................................ ۲۶

انتشار نور ......................................................................۲۸

بستهٔ نوری ......................................................................۲۹

سرعت نور ...................................................................... ۳۰

انعکاس ......................................................................۳۲

آیینه‌های کروی ...................................................................... ۴۱

تشکیل تصویر در آیینه‌های کروی ........................................ ۵۰

معادلات آیینه‌ها ..................................................................۵۳

تطبیقات ......................................................................۵۷

بزرگ‌نمایی ...................................................................... ۶۰

**فصل چهارم:** انکسار، انکسار چیست؟.............................................۶۹

قوانین انکسار ......................................................................۷۵

مسیر نور در یک تیغهٔ متوازی‌السطوح ........................................۷۹

زاویهٔ بحرانی و انعکاس کلی ........................................ ۸۳-۸۴



# فهرست

صفحه


منشور ........................................................ ۸۶
تجزیهٔ نور ........................................................ ۸۷
رنگین کمان ........................................................ ۹۱
**فصل پنجم:** عدسیه‌ها........................................................ ۹۵
ترسیم تصویر در عدسیه‌های باریک ........................................ ۱۰۱
معادلهٔ عدسیهٔ باریک و بزرگ‌نمایی ........................................ ۱۰۴
خصوصیات عدسیه‌های مقعر ........................................ ۱۰۹
قدرت عدسیه‌ها ........................................................ ۱۱۸
ترکیب عدسیه‌های باریک ........................................ ۱۱۹
چشم انسان ........................................................ ۱۲۳
فاصلهٔ دور و نزدیک دید ........................................ ۱۲۵
دوربین عکاسی ........................................................ ۱۲۶
میکروسکوپ ........................................................ ۱۲۹
**فصل ششم:** برق ساکن ........................................................ ۱۳۶
طریقه های چارج کردن اجسام ........................................ ۱۳۹
قوهٔ برقی ........................................................ ۱۴۲
ساحهٔ برقی ........................................................ ۱۴۶
پوتانشیل برقی ........................................................ ۱۵۴
تفاوت پوتانشیل ........................................................ ۱۵۷
رابطه بین پوتانشیل و ساحهٔ برقی ........................................ ۱۵۸
خازن، مفهوم ظرفیت ........................................ ۱۶۰
خازن لوحه‌های موازی ........................................ ۱۶۱
اتصال خازن‌ها ........................................................ ۱۶۴



# فهرست

صفحه


**فصل هفتم:** سرکت و جریان........................................................ ۱۷۳

مقاومت ............................................................ ۱۷۸

اتصال مقاومت‌ها ............................................................ ۱۸۰

قوهٔ محرکهٔ برقی ............................................................ ۱۸۷

معادلهٔ سرکت برقی ............................................................ ۱۸۸

قوانین کرشهوف ............................................................ ۱۹۳

**فصل هشتم:** مقناطیس............................................................ ۱۹۹

قوهٔ مقناطیسی بالای یک‌هادی حامل جریان ............................ ۲۰۴

مومنت بالای یک کوایل جریان‌دار ............................................ ۲۰۶

ساحهٔ مقناطیسی یک‌هادی مستقیم طویل ................................ ۲۰۹

ساحهٔ مقناطیسی یک کوایل ............................................................ ۲۱۲

قوه‌های مقناطیسی بین دو وایر حامل جریان ............................ ۲۱۵

**فصل نهم:** القای الکترومقناطیسی و برق متناوب ............................ ۲۱۹

مفهوم القا ............................................................ ۲۲۰

قوهٔ محرکهٔ برقی جریان القایی ............................................ ۲۲۲

سرکت‌های RL ............................................................ ۲۲۹

سرکت‌های RC و LC ............................................................ ۲۳۱-۲۳۲

القای متقابل ............................................................ ۲۳۵

ترانسفارمر ............................................................ ۲۳۶

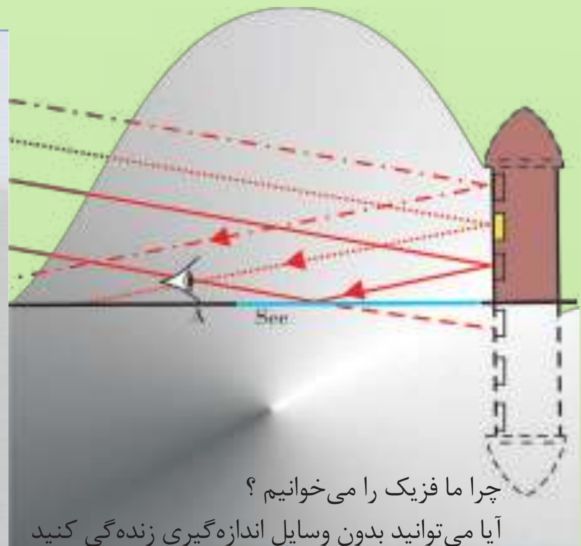
جنراتورها ............................................................ ۲۳۹

# فزیک چیست؟

اکثر ما به‌صورت تصادفی فزیک‌دان تولد شده ایم. در جریان زنده‌گی به سرعت می‌آموزیم که قوانین چه نوع عمل می‌کنند. به‌طور مثال اگر یک جسم از یک ارتفاع به‌طور آزاد رها شود، به‌طرف زمین سقوط می‌کند. این یکی از قوانین فزیک است که در زمانه‌های قدیم کشف شده است. با گذشت زمان بدون این‌که توجه نماییم، همواره در امور روزمره از فزیک و قوانین آن استفاده به عمل آورده ایم. از این جا است که ما در مشاهدات خود از روابط بین متحول‌ها آغاز می‌کنیم. چنان‌چه در مثال فوق بارها عملاً مشاهده کرده ایم که جسم حین سقوط در نقطهٔ رسیدن به زمین دارای سرعت بیش‌تر می‌باشد. پس می‌توان گفت که در همه جا پدیده‌های فزیکی ما را احاطه کرده اند، و علم فزیک قوانین وقاعده‌ها در این پدیده‌ها را توضیح کرده و به سوال‌های مربوط به آن‌ها جواب می‌دهد و انسان‌ها را قادر می‌سازد تا پرده از روی بسا اسرار این جهان پیچیده بردارد.

در صنوف گذشته شما موضوعات حرکت، برق، حرارت، نور و غیره را مطالعه نمودید. اکنون می‌بینیم این موضوعات با علم فزیک چه رابطه‌یی دارند؟ علم فزیک چیست؟ فزیک‌دان‌ها در اجرای کارهای شان از چه استفاده می‌نمایند؟ مطالعهٔ علم فزیک چگونه آغاز می‌شود؟ چرا بعضی‌ها می‌گویند که فزیک زنده‌گی است. شما به این چنین سؤال‌ها وقتی جواب خواهید گفت که این فصل را مطالعه کنید. هم‌چنان شما در پایان این فصل مهارت‌ها و سود مندی‌های ذیل را حاصل خواهید کرد:

- تعریف علم فزیک.
- بحث و مناقشهٔ مفید پیرامون تاریخچهٔ فزیک .
- توضیح و تشریح ضرورت ریاضی در مطالعهٔ علم فزیک.
- تحلیل و ارزیابی علم فزیک
- توضیح میتودهای علمی‌تحقیق به اساس اجرای تجارب.
- توضیح کمیت‌های فزیکی با استفاده از ریاضی.
- آشنایی با تیوری‌های مشهور و مهم فزیک.



چرا ما فزیک را می‌خوانیم ؟
آیا می‌توانید بدون وسایل اندازه‌گیری زنده‌گی کنید





## 1-1: مقدمه بر فزیک

فزیک عبارت از علم مطالعهٔ مجموعهٔ قوانین طبیعت است که در بر دارندهٔ تمام پدیده‌های فزیکی در جهان می‌باشد. به‌خاطر باید داشت که این قوانین می‌توانند به کمک معادله‌های ریاضی افاده شوند. به عبارت دیگر ممکن است بتوان مقایسه‌های مقدار صحیح و دقیقی را بین پیش‌بینی فرضیه‌ها، که از شکل ریاضیکی قوانین مشتق شده اند و مشاهدات از تجربه‌ها عملی نمود. آن‌چه به‌طورخاص این علم را شـگفت‌آور می‌سـازد این حقیقت اسـت که فزیک به هر چیز در کاینات ار تباط دارد. با یک نـگاه، زیبایی عجیبی به نظر می‌خورد که فزیک کاینات را طوری به‌ما مجسـم می‌سـازد که با همه پیچیده‌گی‌ها و تنوع اشیایی که در جهان ماحول ما قرار دارند، همه و همه به قدارت خداوند (ج) در قالب چند اصول و قوانین اساسـی ظاهر می‌شـوند و در کنترول آن‌ها می‌باشند، که ما می‌توانیم این قوانین اساسی حیرت‌انگیز و نشاط‌بخش طبیعت را کشف کنیم و مورد تطبیق قرار دهیم.

برای کسـانی که به این مضمون آشـنایی ندارند، فزیک یک علم مغشوش کننده و متراکم از یک سلسله فورمول‌ها به‌نظر می‌آید. ولی در حقیقت این فورمول‌ها می‌توایند مانند درختانی باشند که جنگل را احاطه کرده اند و برای یک فزیک‌دان فورمول‌های زیاد می‌توانند به‌سـادگی مفاهیم و مفکوره‌های اساسـی را بیان نماید. علم فزیک که زمانی به نام فلسفهٔ طبیعت یاد می‌گردید، نسبت به همه بخش‌های دیگر سـاینس، قوانین طبیعت را بیش‌تر تحـت مطالعه قرار می‌دهد بخش‌های دیگـر علـوم و انجینری که در ردهٔ بعد از فزیک قرار می‌گیرند، نیز دارای دسـت آوردهای وسـیع علمی‌می‌باشند؛ لیکن همهٔ شان به اساس قوانین و مفکوره‌های فزیکی پایه‌گذاری شده اند.

در گذشـته‌ها می‌گفتند که فزیک مطالعهٔ ماده و حرکت می‌باشـد، لیکن این جمله و جملات نظیر آن نتوانسـت تعریف فزیک را تکمیل نماید. فزیک را می‌توان«ذخیرهٔ علمی‌مفاهیم و ارایهٔ آن به وسیلهٔ معادلات ریاضی و تطبیق عملی آن در ابعاد فلسفی» هم تعریف کرد.

بالآخـره جای دارد که بگوییم؛ علم مطالعهٔ همه موجودات، فزیک نامیده می‌شـود. فزیک در تحقیق و پژوهش مانند علوم طبیعی دیگر، اصل استفاده از میتود علمی را به‌کار می‌برد که مراحل این اصل در دیاگرام (نمودار) ذیل نشان داده شده است:

دیا گرام(نمودار) را به دقت مطالعه کرده و به سوال‌های ذیل جواب بگوئید.

1- چرا باید اول در بارهٔ موضوع مشاهدات انجام داد و معلومات را جمع‌آوری نمود؟

2- آیا به پیشنهاد فرضیه برای تحقیق یک موضوع باید تأکید صورت بگیرد؟ چرا؟

3- چرا بسیاری‌ها می‌گویند که تجربه مرحلهٔ مهم مباحثه می‌باشد؟

4- اگر نتیجه‌گیری، فرضیه را غلط ثابت کند، چه کاری باید صورت بگیرد؟

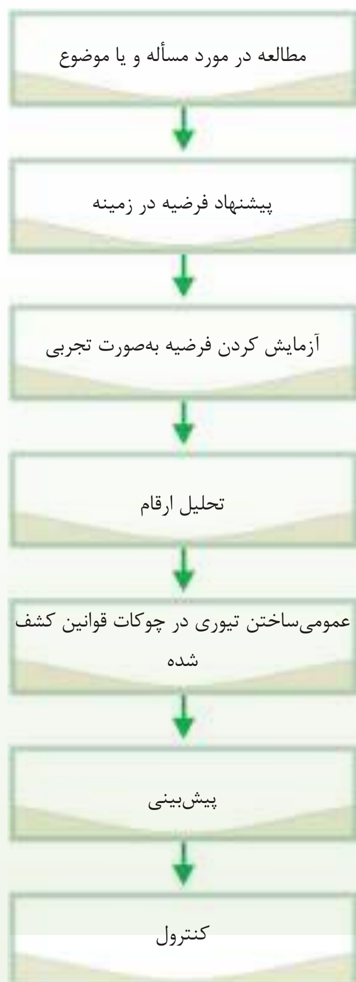
5- روی اهمیت پیش‌بینی برای خصوصیات ماده بحث و مناقشه کنید.

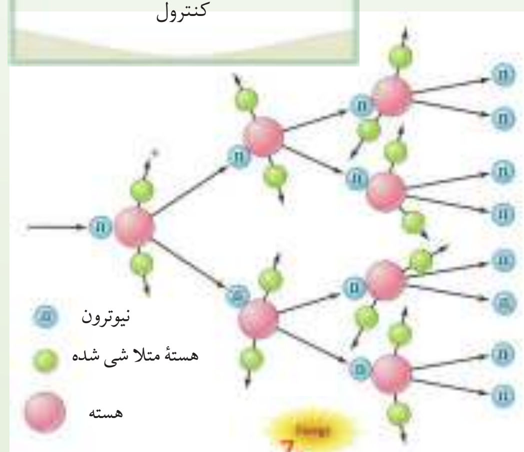




6- چرا ما از مراحل کار کنترول به‌عمل می‌آوریم؟

در این او اخر مفهوم ماده به‌حیث انرژی تفهیم شده است، چنان‌چه ذرات مستقر و غیر مستقر و هم‌چنان عمل متقابل بین ماده و انرژی و انتقال انرژی شواهدی برای اثبات این حقیقت می‌باشند. هدف اساسی مطالعهٔ فزیک عبارت از مطالعهٔ حقایق در طبیعت (از نظام‌های کهکشان‌ها به مقیاس بزرگ الی ذرات اتم‌های مستقر و غیر مستقر) و ذرات کوچک دیگر و......... می‌باشد. با الآخره فزیک سعی می‌نماید تا خصوصیات ماده را توضیح کند و قانونمندی‌های طبیعت را توسط معادله‌های ریاضی، ساده و قابل فهم بسازد. اشکال (1-1) و (2-1) را مشاهده نمایید.




شکل (2-1)

شکل (1-1)



## 1-2: تاریخچهٔ مختصر فزیک

از آغاز زنده‌گی بشر، انسان‌ها حین فعالیت‌های شان، همواره با سوال‌های گوناگونی مانند روشنی چیست؟ در آسمان چه را مشاهده می‌کنیم ؟ و امثال آن مواجه بوده اند. با به وجود آمدن و طرح شدن چنین سوال‌ها، علم فزیک برای جواب دادن آن‌ها عرض وجود کرد. تا سال 1850 بعضی نوشته‌ها و شواهد تجربی و جود داشتند که تحت نام فلسفهٔ طبیعی و یا فلسفهٔ تجربی مطالعه می‌شدند و این نام به‌حیث نقطهٔ متقابل بین علوم طبیعی، الهیات و ادبیات شناسی قبول گردیده بود.

نتیجه‌گیری از تجارب فلسفی جمع شده نشان داد که یک شخص توان آن را ندارد که در تمام ساحه‌های علمی، ادبی و فلسفی کار نماید. بنابر این اصل بود که بالآخره در سال 1850 میلادی، کیمیا، ستاره شناسی، زمین شناسی و غیره از بدنهٔ فلسفهٔ تجربی مجزا گردید و به حیث بخشی از علوم مستقل عرض وجود کردند. بعد از وقوع این حادثه، گنجینهٔ مابقی بدنهٔ فلسفهٔ تجربی به فزیک متعلق گردید.

اهمیت مرکزی این مضمون در این است که برای فهمیدن علوم دیگر، به آموزش مفاهیم فزیک نیز ضرورت می‌باشد. فزیک علم اندازه‌گیری کمیت‌ها می‌باشد و برحسب نظری به پنج بخش ذیل تقسیم شده است:

1- میخانیک: از تیوری میخانیکی اجسام بحث می‌کند.
2- ترمودینامیک: با حرارت و درجهٔ حرارت ارتباط دارد.
3- الکترو مقناطیس: برق، مقناطیس و تشعشع اشعهٔ الکترومقناطیسی را مطالعه می‌کند.
4- میخانیک کوانتمی: خصوصیت جهان مایکروسکوپیک (Microscopic) را توضیح می‌نماید.
5- نسبیت: از سرعت‌های خیلی بزرگ ذرات بحث می‌کند.

اولین تیوری که به درازای تاریخ علم فزیک انکشاف نموده، عبارت از تیوری میخانیک بوده است. این تیوری از ارسطو (Aristotle) تا به وقت اسحاق نیوتن (Isac Neuton-1678) ا نکشاف نمود. این تیوری زمانی که نیوتن کتاب مشهور خود را تحت عنوان میخانیک به رشتهٔ تحریر درآورد، به اوج خود رسید. میخانیک نیوتن طی قرون هفدهم و هجدهم رقیبی نداشت. بعداً درسال‌های قرن نزدهم، الکترو دینامیک و ترمو دینامیک به‌وجود آمدندکه علمایی چون ماکسویل، فارادی، امپیر و غیره، در ایجاد آن‌ها نقش به‌سزایی را بازی کردند.

یک کشف بزرگ دیگر در این عصر عبارت از قانون تحفظ انرژی می‌باشد. میخانیک، الکترو دینامیک و ترمودینامیک مجموعاً به‌نام فزیک کلاسیک یاد می‌شود، درحالی‌که میخانیک کوانت (نسبیت) به‌نام فزیک معاصر یا مدرن یاد می‌گردد.

در این او اخر دو بخش دیگر تحت نام‌های فزیک تراکم ماده و فزیک ذرات بسیط دارای انرژی بلند در علم فزیک زیاد شده اند. که هر دو تحت نام فزیک مدرن مطالعه می‌شوند.

**تحقیق کنید:**

خلص بیوگرافی یک فزیک‌دان را که دریکی از پنج بخش فزیک معادله‌یی نوشته باشد و یا به انکشاف آن بخش کمک چشم‌گیری نموده باشد، در نیم صفحه بنویسید و آن را در صنف به شاگردان ارایه کنید.

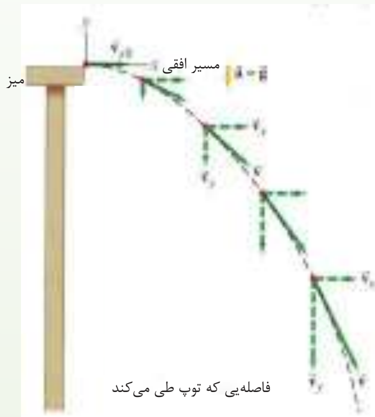




## 1-3: **زبان فزیک**

مطالعهٔ جهان فزیک خیلی پیچیده است، فزیک‌دان‌ها معمولاً برای توضیح مطالب اساسی و مهم فزیک و فرضیه‌های آن از مودل‌ها استفاده به‌عمل می‌آورند. فزیک‌دان‌ها برای توضیح و تشــریح فزیک، مودل‌های خیلی‌ها دقیق را ایجاد کرده اند. امروز بســیاری از این مودل‌ها، مودل‌های ریاضی می‌باشــند. معمولاً ابتدا مودل‌های بســیط ایجاد می‌شوند، زیرا استفاده از این مودل‌ها نظر به مودل‌های پیچیده و و ســیع آســان‌تر است. مودل‌های بسیط بعضاً برای حصه‌های معینی از فرضیه‌ها اســتعمال می‌گردند. فرض می‌کنیم یک توپ پرتاب شدهٔ افقی را می‌خواهیم قســماً در مطالعهٔ مبحث حرکت مودل‌سازی نماییم. این توپ مودل، در حالت دوران و یا خیز نمی‌باشد، نه صدای ضربهٔ دندهٔ توپ و نه هم صدای توپ که به زمین بخورد، به گوش می‌رسد.

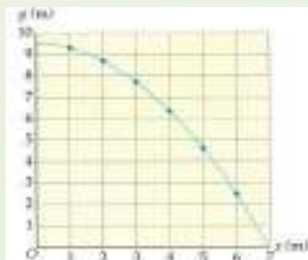
ما سیســتمی‌را برای حرکت توپی معرفی می‌کنیم که می‌خواهیم آن را مطالعه نماییم. مسیر حرکت ساده و مواد داخل آن را که بالای حالت وی مؤثر می‌باشــد، در نظر می‌گیریم. غرض روشن شدن موضوع، به شکل (1-3) ببینیــد. زمانی‌که مســیر را مطالعه می‌نماییم، حتماً سیســتمی‌که تحت مطالعه قرار می‌گیرد، شامل توپ و اصابت آن به زمین می‌شــود، بدون این‌که، رنگ هــوا و یا اندازهٔ صــدا را درنظر بگیریــد، تنها تغییر در موقعیت آن‌ست که می‌تواند در سیتم، مورد تحقیق و مطالعه قرار بگیرد.

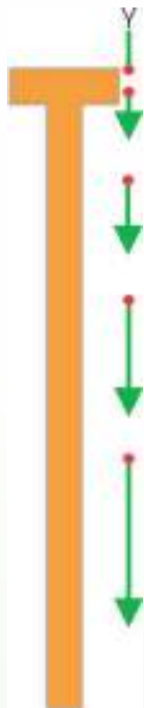


شکل (1-3)

فزیک‌دان‌ها حرکت توپ را فقط یک مودل کوچک ایجاد شــده که مجزا از اندازهٔ رنگ، صدا و چرخش می‌باشــد، مطالعه می‌نمایند که اجزای این ســیتم فقط نقطه با یک مســیر (خط) می‌باشد، شکل (1-4) را مشاهده کنید.

فزیک‌دان‌هــا مودل‌هــای ســاده را بــرای آن ایجاد می‌نمایند تا با جهان حقیقی آشــنا شــوند. فزیک‌دان‌ها از ریاضی برای تفسیر و خلاصهٔ حقایق به‌حیث افــزار اســتفاده می‌نمایند. ایشــان روابط


شکل (1-4)
مودل حرکت توپ

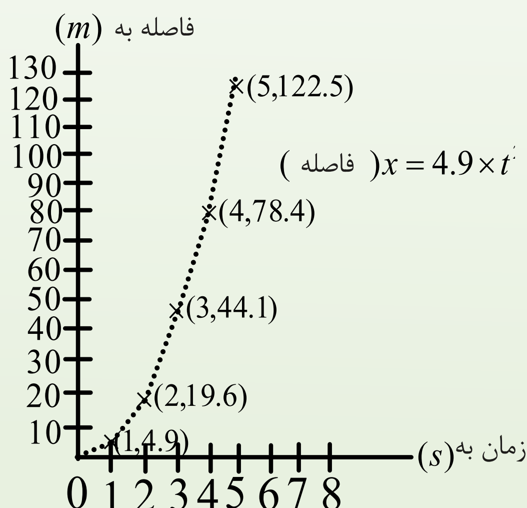

شکل (1-5)

ریاضی را برای توضیح کمیت‌های فزیکی به‌کار برده و از این طریق به خوبی وقوع حوادث را پیش‌بینی می‌کنند.

از این جا است که ریاضی منحیث زبان فزیک عمل می‌کند و یا به‌عبارهٔ دیگر می‌توان گفت که ریاضی عبارت از زبانی است با خصوصیات خاص که توسط معادلات، جدول‌ها، گراف‌ها و سوال‌ها، تحلیل و ارزیابی ارقام و احصاییه‌ها را آسان‌تر می‌سازد. به گونهٔ مثال اگر ما تجربه‌یی را مطابق شکل (1-5) اجرا نماییم، مشاهده می‌کنیم که در این تجربه، توپ به صورت آزاد سقوط کرده است و به صورت کل نتیجهٔ حرکت سقوط منحیث فاصلهٔ سقوط تابع به وقت یادداشت گردیده است. معمولاً در تجارب، ارقام درجدول یاد داشت می‌شوند، چنان‌چه در جدول مرتبه از تجربهٔ فوق دیده می‌شود که با افزایش وقت، فاصلهٔ سقوط بزرگ‌تر می‌شود.

| وقت به (s) | 0.067 | 0.133 | 0.200 | 0.233 | 0.267 | 0.600 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| فاصلهٔ سقوط به (cm) | 2.20 | 8.676 | 19.62 | 26.628 | 34.967 | 176.58 |

یکی از میتودهای تحلیل ار قام عبارت از ترسیم گراف فاصله نظربه وقت می‌باشد. این گراف در شکل (1-6) نشان داده شده است. برای هر نقطهٔ منحنی گراف می‌توانیم روی محورهای فاصله و وقت مطابقتاً کمیات وضعیهٔ مربوطه را مشخص نماییم. هم‌چنان شکل گراف، معلومات لازمه بین کمیت‌ها را ارایه می‌کند، چنان‌چه در شکل، ارتباط بین فاصله و و قت دیده می‌شود. هر گاه فاصله را به x و وقت را به t نمایش دهیم، ما می‌توانیم با ضرب نمودن عدد 4.9 به مربع وقت، معادلهٔ تغییر موقعیت جسم را در هر لحظهٔ زمانی به‌دست آوریم. (به شکل گراف نظر انداخته محاسبات را مطالعه کنید).



شکل (1-6) گراف فاصله نظر به وقت

### سوال‌ها

1 - در جملات خود توضیح نمایید که مقصد ما از مودل چیست؟
2 - آیا فزیک‌دان‌ها هنگام تحقیقات شان استفاده از ریاضی را صرف نظر کرده می‌توانند؟ چرا؟

## خلاصهٔ فصل

• فزیک از ترکیب ماده و خصوصیت آن، حرکت ماده، انرژی و هم‌چنان از ذرات ابتدایی کوچک (جهان Microscopic) تا اجسام بزرگ و کهکشان‌ها (جهان Macroscopic) بحث می‌نماید.

• برای حل مسأله به‌صورت علمی، از مطالعات و جمع‌آوری مواد آغاز می‌نماییم. این عمل اجازه می‌دهد تا فرضیهٔ مناسب غرض توضیح مطالب انتخاب و بعداً این فرضیهٔ را توسط تجربه امتحان می‌کنیم و با نتیجه‌گیری و عمومی‌ساختن آن به پیش‌بینی و اصل قاعده و یا قانون می‌پردازیم.

• فزیک از بخش‌های کلاسیک و مدرن ساخته شده است.

• ریاضی زبان فزیک است و توسط آن فزیک‌دان‌ها نتایج نظری را توضیح می‌نمایند.

## سوالات اخیر فصل

جواب‌های صحیح را انتخاب کنید:

1 - فزیک تراکم ماده و فزیک ذرات بسیط با انرژی بلند (فزیک مدرن) به کدام بخش‌های ذیل ارتباط دارد؟

الف. میخانیک ب. ترمودینامیک
ج. الکترودینامیک د. کوانتم میخانیک و نسبیت

2- کدام ساحهٔ فزیک با درجهٔ حرارت مرتبط می‌باشد؟

الف. میخانیک ب. نسبیت
ج. کوانتم میخانیک د. ترمودینامیک

3- کدام یک از مباحث ذیل به فزیک تعلق دارد؟

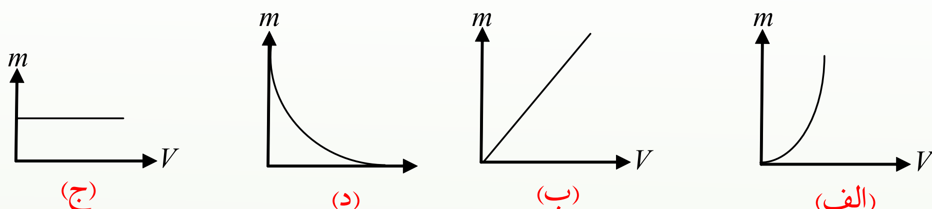
الف. احتراق تیل ب. نشو و نموی نباتات
ج. جوش دادن آب د. طبقه‌های زمین

4- در روش‌های علمی‌ذیل برای تحقیق، مرحلهٔ خیلی مهم عبارت است از:

الف. فرضیه‌ها ب. تجربه
ج. قوانین د. پیش‌گویی

5- کدام یک از گراف‌های داده شده، به ار قام داخل جدول خوب‌تر مطابقت دارد؟

| حجم | 0.50 | 1.00 | 1.30 | 1.50 | 2.00 |
|---|---|---|---|---|---|
| کتله | 0.58 | 1.15 | 1.50 | 1.73 | 2.30 |




6- کدام یک از معادلات ذیل با ار قام جدول سوال فوق مطابقت دارد؟

الف، $m^2 = 1.3v$ ب، $V = 1.3m$ ج، $m = 1.15v$ د، $m = 1.3v^2$

7- بخش‌های مهم فزیک کلاسیک را نام بگیرید.

8- هر یک از موارد ذیل با کدام ساحه‌های فزیک زیادتر مرتبط می‌باشد؟ بنگارید.

الف. بازی فوتبال

ب. تهیهٔ غذا

ج. عینک‌های آفتابی

9- کدام مراحل در میتود علمی به‌کار برده می‌شود؟ نام ببرید.

10- کدام یک از افاده‌های ذیل را بیانیهٔ علمی‌گفته می‌توانیم ؟

1- زمین به اطراف محور آن دوران می‌نماید، زیرا موجودات زنده هم به تاریکی شب و هم به روشنی روز ضرورت دارند.

2- از سبب موجودیت قوهٔ ثقل، مهتاب روی مدار زمین می‌چرخد.

11- فزیک‌دان‌ها برای توضیح مطالب مهم فزیک از چه چیز استفاده می‌کنند؟ و برای تفسیر وخلاصهٔ حقایق از کدام چیز به‌حیث افزار کار می‌گیرند؟





# اندازه‌گیری

اگر یک جســم یا یک شی را که در مورد آن ســخن می‌گوییم اندازه کرده بتوانیم و توسط یک عدد آن را نشان داده بتوانیم، یقییناً گفته می‌توانیم که در مورد آن جسم معلوماتی حاصل کرده ایم.

ولی اگر در مورد یک جســم یا یک شی ســخن می‌گوییم و آن‌را اندازه کرده نتوانیم و توســط یک عدد نشــان داده نتوانیم، پــس یقیناً که در مــورد آن دانش ما ناقص می‌باشد. آیا می‌دانید که ضخامت کتاب شما چقدر است؟ در کدام درجهٔ حرارت آب به جوش می‌آید؟ نمک به کدام ســرعت در آب حل می‌گردد؟ این پرســش و مانند این، پرســش‌های دیگر را وقتی جواب گفته می‌توانیم که اندازه شــوند. در این فصل در مورد اندازه‌گیری به صورت عملی بحث صورت می‌گیرد. ساینس‌دان‌ها باور دارند که اندازه‌گیری به صورت مطلق درســت نبوده و حتماً در آن اشتباهی وجود خواهد داشــت. ولی اشــتباه باید به کوچک‌ترین حد ممکن کاهش یابد. منشــأ اشــتباهات کدام‌ها اند؟ در این مورد نیز در همین فصل بحث صورت می‌گیرد.

زمانی‌که یک شی اندازه شود، باید توسط یک عدد و از جنس یک واحد نشان داده شود. واحدات در فزیک اهمیت زیاد دارد. در این فصل در مورد سیســتم واحدات بین‌المللی (SI) روشــنی انداخته خواهد شــد و واحدات اصلی و فرعی به تفصیل مطالعه خواهند گردید. واحدات در حل ســوالات خیلی کمک می‌نماید و برای استفاده درست از آنها به تحلیل ابعاد ضرورت وجود دارد. ایــن موضوع نیز در این فصل مطالعه خواهد شــد. درجهٔ دقت اندازه‌گیری نیز یکــی از موضوعات دیگر این فصل است.



انتظار می‌رود تا در اخیر این فصل شاگردان به سوالات ذیل جواب ارایه کرده بتوانند:

- اندازه‌گیری چیست؟
- واحدات اصلی و فرعی اندازه‌گیری کدام‌ها اند؟
- منشــأ اشــتباهات در اندازه‌گیــری کدام‌ها اند؟
- در اندازه‌گیری، ارقام قابل اهمیت کدام‌ها اند؟
- در تحلیــل ابعاد تفــاوت بین کمیت (بُعد) فزیکی و واحد چیست؟



### 2-1: اندازه‌گیری چیست؟

آیـا می‌توانیم در مورد محیط و جهان فزیکی خویش که در آن زنده‌گی می‌نماییم معرفت حاصل نماییم؟ برای رسیدن به این مقصد کدام طریقه‌یی در ذهن شما خطور می‌نماید؟

بلـی: ایـن معرفت را حاصل کـرده می‌توانیم ولی مهمترین گام درین طریقه این اسـت که از اندازه‌گیری اسـتفاده نماییم. انسـان‌ها از قرن‌ها به این طرف برای شـناخت جهان از اندازه‌گیری اسـتفاده نمـوده و طریقه‌هـای مختلف اندازه‌گیـری را دریافت کرده اند. خصوصاً سـاینس دان‌ها طریقه‌های خیلی مغلق به کار برده و از آن مسـتفید گردیده اند. برای شـاگردان فزیک نیز لازم است که همان طریقه‌های اندازه‌گیری را بشناسند که به آنها ضرورت دارند و محدودیت‌های شان را بدانند. قرار تعریف وقتی‌که یک کمیت فزیکی با یک مقدار خاص که واحد آن کمیت باشد مقایسه گردد، این عملیه را اندازه‌گیری می‌گویند. ولی امروز سـاینس دان‌ها تزاید اعتماد و اطمینان را در مورد معرفت اشـیا اندازه‌گیری می‌گویند. یعنی تا وقتی‌که اشـیا اندازه نگردد، شناخت ما در مورد آن ناقص خواهد بود. این هم بسیار مهم است که نتایج اندازه‌گیری واقعی باشد، و دقت در گزارش دهی با دقت آلهٔ اندازه‌گیری یک‌سـان باشد. در گزارش دهی اندازه‌گیری، کاربرد ارقام قابل اهمیت (Significant figures) سبب وضاحت بیشتر معلومات شده می‌تواند.

**فعالیت**

مـواد مورد ضـرورت: خط کش به طول ۳۰cm با تقسـیمات ملـی متر و یک ورق کاغذ.

## طرزالعمل:

1 - طول، عرض و ضخامت کتاب (فزیک) خود را اندازه نمایید.

2 - هـر یک از اندازه‌های فـوق الذکر را چهار، چهار مرتبه اجرا نمایید و در یک ورق کاغذ قرار ذیل بنویسید.

| کتاب فزیک | مرتبهٔ اول | مرتبهٔ دوهم | مرتبهٔ سوم | مرتبهٔ چهارم |
|---|---|---|---|---|
| طول | ؟ | ؟ | ؟ | ؟ |
| عرض | ؟ | ؟ | ؟ | ؟ |
| ضخامت | ؟ | ؟ | ؟ | ؟ |

3 - هر گاه در اندازه‌گیری‌ها تفاوت وجود داشته باشد، آن‌را با همدیگر شریک نمایید.

4 - سبب این تفاوت‌ها چیست؟ در گروپ‌ها با هم بحث نمایید، و عوامل تفاوت ها را گزارش دهید.

## 2-2: ارقام قابل اهمیت (*significant figures*)

در علوم غرض نمایش دقیق اندازه‌گیری از ارقام قابل اهمیت (ارقام قابل اعتماد) استفاده می‌شـود. زمانی‌که یک شـخص ذریعۀ یک آله، یک کمیت فزیکی را انـدازه می‌نماید، یک قیمت این آله را خوانده و آن‌را توسط یک عدد نشان می‌دهد. تمام ارقام این عدد که از آلۀ اندازه‌گیری خوانده شده است، جمع یک رقم مشکوک به نام ارقام قابل اهمیت یاد می‌شود. از جملۀ این ارقام، رقم مشـکوک تقریبی بوده و به کوچک‌ترین تقسـیمات آلۀ اندازۀ گیری مربوط می‌باشـد. به هر اندازه‌یی که در گزارش دهی اندازه‌گیری ارقام اهمیت بیشـتر باشد، بـه همان اندازه گزارش دقیـق خواهد بود. به خاطر وضاحت ارقـام قابل اهمیت مثال ذیل را در نظـر میگیریم. می‌خواهیم که طول کنار یک مکعب را توسـط خط کش معلوم کنیم. خط کش دارای تقسـیماتی از 1 الی 100 می‌باشـد و هر قسمت آن یک سانتی متر است. هر سـانتی متر آن نیز دارای ده تقسـیمات می‌باشد که هر تقسیمات یک ملی متر می‌شود. وقتی‌که توسـط این آله کنار معکب اندازه‌گیری گردیده اسـت، شخص اندازه گیری کننده آن‌را توسط عدد $16.84cm$ گزارش داده است.در این حالت 1، 6 و 8 دقیقا از روی خط کش خوانده شـده است اما 4 یک رقم تخمینی است، که بین نشانه‌های هشتم و نهم ملی مترها قرار دارد. در گزارشـات علمی‌این رقم مشـکوک یا تخمینی طوری نوشته می‌شود که بالای آن علامۀ دش (ـ) می‌باشد، مثلاً $16.84cm$. در این مثال تمام ارقام 1، 6، 8 و 4 از جملۀ ارقام قابل اعتماد بشمار می‌آید. در ریاضی برای ارقام قابل اهمیت (قابل اعتماد) قواعد ذیل وجود دارد:

- ارقام خلاف صفر، قابل اهمیت می‌باشند.
- صفرهای که در بین دیگر ارقام قابل اهمیت واقع باشند، ارقام قابل اهمیت می‌باشد.
- در ارقام قابل ارزش، همان رقمی‌که در چپ ترین طرف واقع اسـت ارزشـمندترین رقم اسـت. طور مثال در عدد (0.004205) ارزشـمندترین رقم، چار (4) می‌باشد، و صفرهای طرف چپ چار، ارقام ارزشـمند نمی‌باشـد ولی همان صفری که بین(2) و 5 واقع است رقم ارزشمند می‌باشد.
- در اعـداد اعشـاری رقمی‌که کوچک‌ترین ارزش را دارا اسـت به راسـت ترین طرف واقع می‌باشـد. مگر با آن‌هم از جملۀ ارقام ارزشـمندخارج نمی‌گردد، چنان‌چه در مثال فوق، 5 کم





ارزش ترین رقم است، ولی با آن هم از جملهٔ ارقام با ارزش می‌باشد.

• اگر علامهٔ اعشاریه موجود نباشد، راست ترین رقم خلاف صفر، رقم کم ارزش می‌باشد. طور مثال در 4800 کم ارزش ترین رقم،8 است.

**سوالات:** در اعداد ذیل کم ارزش ترین ارقام کدام‌ها اند؟

الف: $300000000\frac{m}{s}$

ب: $3\times10^{8}\frac{m}{s}$

ج: $25.030\,^{o}C$

د: $0.006070\,^{o}C$

هـ: $1.004j$

و: $1.30520MH_{z}$

ز: $78.9m$

ح: $3.788\times10^{9}s$

ط: $2.46\times10^{6}kg$

ی: $0.0032mm$

2 - سرعت نور $\frac{m}{s}$ $2.99792458X10^{8}$ است شما این سرعت را توسط:

الف: سه رقم ارزشمند،

ب: پنج رقم ارزشمند،

ج: هفت رقم ارزشمند نشان دهید

## روش علمی عدد نویسی

برای حل مسایل در ساینس باید تمام قیمت‌ها با استفاده از عدد نویسی علمی‌نوشته شود. در عدد نویسی علمی، اندازه‌گیری به طاقت 10 تحریر می‌گردد و تمام ارقام داده شدهٔ آن‌ها مهم می‌باشد. به طور مثال، اگر طول $23.0cm$ دارای عدد دو رقمی باشد، باید آن‌را در عدد نویسی علمی‌چنین نوشته کرد: $2.3\times10^{1}cm$

همین طور عدد $230.00$ cm چنین نوشته می‌شود: $2.30\times10^{2}cm$ اگر در پیشروی ارقام یک مقدار داده شده، صفرها موجود باشد، عدد نویسی علمی‌در این حالت نیز به‌کاربرده می‌شود. طور مثال، اندازه‌یی مانند $0.00015cm$ در عدد نویسی علمی‌به شکل $1.5\times10^{-4}cm$ نوشته

می‌شود، درحالی که دارای دو رقم می‌باشد. صفرهای بین علامهٔ اعشاریه و رقم 1 ارقام قابل اهمیت (significant figures) شمرده نمی‌شود. زیرا این صفرها تنها برای تعیین محل علامهٔ اعشاریه و نشان دادن نوع مقدار، گذاشته می‌شود. قاعده‌یی که تعداد ارقام صفرهای شامل در یک اندازه گیری را تعیین می کند در جدول ذیل نشان داده شده است.

| قاعده | مثال‌ها |
|---|---|
| 1. صفرهای بین ارقام خلاف صفر نیز ارقام می‌باشند. | a) $50.3m$ سه رقم دارد<br>b) $3.0025s$ دارای پنج می‌باشد |
| 2. صفرها در پیشروی (طرف چپ) ارقام خلاف صفر، رقم نمی‌باشد. | a) $0.892$ دارای سه رقم می‌باشد<br>b) $0.0008ms$ دارای یک رقم می‌باشد |
| 3. صفرها در پایان (طرف راست) یک عدد، ارقام می‌باشد. | a) $57.00g$ چهار رقم دارد<br>b) $2.000,000kg$ هفت رقم دارد |
| 4. صفرهای آخر سمت راست بعد از اعشاری ارقام نمی‌باشند. | a) $32.020$ چهار رقم دارد<br>b) $25.300$ سه رقم دارد |

## درمحاسبات تعداد ارقام به قاعده‌های مشخص ضرورت دارد

تعداد ارقامی‌را که شـــما در محاسبات خویش حاصل می‌نمایید، در اندازه‌گیری مربوط به ارقام مهم می‌باشـــد. طور مثال، اگر شـــخصی بگوید که ارتفاع قلهٔ کوه $1710m$ است، طوری معلـــوم می‌شـــود که ارتفاع حقیقی قلهٔ کوه بین $1705m$ و $1715m$ می‌باشـــد. اگر شـــخص دیگـــری در قلـــهٔ کوه بـــه ارتفاع 0.70m یک برج از ســـنگ اعمار نماید، طـــور ناگهانی این حالت ارتفاع جدید کوه را تشـــکیل نمی‌دهد که می‌دانیم طور دقیق $1710m$ اســـت. ارتفاع متذکـــره نمی‌تواند اندازهٔ دقیق باشـــد. بنابر این ارتفاع گزارش شـــده با برج باید به $1710m$ تدویر (rounded off) شود، عین قاعده برای ضرب نیز به‌کاربرده می‌شود. غرض وضاحت ایـــن موضوع فرض می‌نماییم که هر گاه طول اتاق $6.7m$ و عرض آن $4.6m$ باشـــد، حاصل ضرب این قیمت‌ها $30.82m^2$ می‌شـــود. این جواب دارای چهار رقم است که نسبت به طول و عرض اتاق خیلی دقیق می‌باشـــد. بنابرین ممکن اســـت که عرض اتاق از $4.55m$ و طول آن از $6.65m$ بیشـــتر باشد یا عرض آن از $4.65m$ وطول آن از $6.75m$ کمتر باشد. بنابرین





باید مســاحت اتاق بین $30.26m^2$ و $31.39m^2$ باشــد. چون هر اندازه‌گیری تنها دارای دو رقم مهم می‌باشــد، پس ممکن است مســاحت اتاق تنها دو رقم مهم داشته باشد. بنابر این مســاحت باید الی $31m^2$روند آف (rounded off) شــود. جدول ذیل دو قاعدهٔ اساسی را نشان می‌دهد که ارقام مهم را در وقت انجام محاسبات تعیین می‌نماید.

| نوع محاسبه | قاعده | مثال |
|---|---|---|
| جمع یا تفریق | جمع و تفریق داده شده به امتداد ستون اجرا می‌گردد، جواب نهایی را از طرف راست به طرف ستون اول که دارای رقم محاسبه شده است روند ROUND OF نمایید. | 97.3 + 5.85 = 103.15 ← شدن روندآف ← 103.2 |
| ضرب یا تقسیم | جواب نهایی دارای سه ارقام مهم می‌باشد که آن‌را کوچک‌ترین عدد اندازه‌گیری می‌گویند. | 123 × 5.35 = 658.05 ← شدن روندآف ← 658 |

بعد از این گونه عملیه های حســابی نتیجهٔ محاسبه، روندآف می‌گردد. طور مثال نتیجهٔ یک تعداد ضرب‌ها با اســتفاده از قاعدهٔ ضرب/ تقســیم باید قبل از این‌که با عدد دیگر جمع شود، روندآف گردد. به عین ترتیب مجموعهٔ چندین عدد مطابق به قاعدهٔ جمع/ تفریق باید قبل از این‌که با عدد دیگر ضرب گردد، روندآف شــود. روندآف ضرب ممکن اســت در یک محاســبه اشتباه را بیشتر بسازد، مگر این برای استفادهٔ قواعد، یک طریقهٔ واضح است. برای تمرین و وضاحت بیشتر، یک تعداد قاعده‌ها در جدول ذیل نوشته شده است:





## جدول قاعده‌های روندآف در محاسبات

| چه می‌کنید؟ | چه وقت انجام می‌دهید | مثال‌ها |
|---|---|---|
| Round down | اگر بعد از علامهٔ اعشاریه عدد مهم نهایی 0، 1، 2، 3 و 4 باشد. | 30.24 طور 30.2 نوشته می‌شود |
| Round down | اگر بعد از علامهٔ اعشاریه یک عدد و بعد از آن 5 باشد و عدد مخالف صفر دیگر را نه داشته باشد. | 32.25 طور 32.2 نوشته می‌شود. |
| Round up | اگر بعد از علامهٔ اعشاریه عدد مهم نهایی 6، 7، 8 یا 9 باشد | 22.49 طور 22.5 نوشته می‌شود. |
| Round up | هر گاه بعد از علامهٔ اعشاری عدد مهم نهایی 5 و بعد از آن عدد مخالف صفر باشد. | 54.7511 طور 54.8 نوشته می‌شود. |
| Round up | اگر بعد از علامهٔ اعشاریه، یکی از اعداد5، 6، 7، 8 و یا 9 و بعد از آن 5 باشد، و عدد دیگر مخالف صفر را نه داشته باشد. | 54.75 طور 54.8 نوشته می‌شود.<br>79.3500 طور 79.4 نوشته می‌شود. |

### 2-3: سیستم واحدات SI

اگر از شما پرسیده شود که یک شی (طور مثال موتر) را دیدید؟ این پرسش در عکس‌العمل شما کدام پرسش‌های آنی را ایجاد خواهد کرد؟ و یا کدام پرسش‌های فوری را با خود خواهد داشت؟ در مورد آن فکر نمایید.

در عکس العمل شما شاید پرسش‌هایی مانند کجا؟ کدام موتر؟ و چه وقت ایجاد گردد. البته کـه در ایـن جا به کجا طول جواب می‌دهد و به کدام موتر کتله و باالاخره به چه وقت زمان یا وقت جواب می‌دهد.





**بحث اول در مورد کجا:** در این جا موقعیت یک شی معلوم می‌شود و برای تعیین موقعیت اندازه کردن طول لازم می‌باشد. برای اندازه کردن طول به یک واحد اساسی ضرورت می‌باشد و این واحد متر است. طول یک متر فاصله‌یی است که **نور آن‌را در** $(3.33564095\times10^{-9})$ ثانیه طی می‌نماید.

چون در امور روزانه برای اندازه کردن فاصله‌های بزرگ (فاصلۀ ستاره‌ها) و هم‌چنان فاصله‌های کوچک (فاصلۀ بین اتوم‌ها) ضرورت می‌باشد، بنابراین واحدات بزرگ و کوچگ نسبت به واحد اساسی وجود دارد که در دروس گذشته تحت عنوان اجزا واضعاف متر آن‌را مطالعه کرده اید.

**بحث دوم درمورد سوال کدام موتر:** در این مورد شاید مقصد این باشد که آیا این موتر کلان است یا کوچک برای اندازه کردن بزرگ (کلان) و کوچک باید کتلۀ یک جسم اندازه گردد.

کیلوگرام واحد کتله است. مقدار مواد داخل یک جسم را کتله می‌گویند، یعنی کتله مقدار موادی است که جسم از آن تشکیل شده است. یک کیلوگرام مساوی به کتلۀ 0.001 متر مکعب آب است. کتلۀ یک کیلوگرام از الیاژ پلاتینیوم- ایریدیوم ساخته شده است که تحت شرایط خاص در پاریس نگهداشته می‌شود.

کیلوگرام نیز واحدات بزرگ و کوچک نسبت به خود دارد که برای اندازه کردن کتله‌های بزرگ و کوچک به کار برده می‌شوند.

**بحث سوم درمورد چه وقت:** وقت یک کمیت دیگر فزیکی است که یک بخش مهم معرفت را بیان می‌نماید. تشخیص مستقیم وقت و تعریف آن تا اندازه‌یی مشکل است. مگر گفته می‌توانیم که همه حوادث در یک وقت (زمان) صورت می‌گیرد و وقت یک کمیت متمادی، برگشت ناپذیر و یک بعدی است.

وقت را اندازه کرده می‌توانیم و واحد اساسی وقت یک ثانیه است. یک ثانیه مساوی به $(\frac{1}{60})(\frac{1}{60})(\frac{1}{24}) = 0.000011574$ یک شبانه روز متوسط آفتابی می‌باشد، و به صورت دقیق وقت یک ثانیه برابر به 9192631770 زمان پیریود موج منتشرۀ اتوم سیزیوم





می‌باشد.

برعلاوهٔ واحدات اساســی طول، کتله و وقت، چار واحدات اساســی دیگر نیز در فزیک وجود دارد که عبارت از امپیر (واحد جریان برق)، کلوین (واحد درجهٔ حرارت ترمودینامیکی)، مول (واحد تعداد ذرات ابتدائی در یک شــی) و کندیلا (واحد شــدت نوری) می‌باشد. و تعریفات مختصر آن‌ها قرار ذیل است:

**امپیر:** جریان ثابت یک امپیر عبارت از جریانی اســت که هر گاه در بین دو ســیم‌هادی بی نهایــت طویل با مقطع خیلی کوچک (قابل صرف نظر) در خلا به فاصلهٔ یک متر از هم‌دیگر واقع باشند. در هر متر سیم‌ها قوه $2\times10^{-7}$ نیوتن را ایجاد نماید.

**کلوین:** کلوین عبارت از واحد درجهٔ حرارت ترمودینامیکی اســت. درجهٔ کلوین به اســاس درجهٔ حرارت ترمودینامیکی سه‌گانهٔ آب از 273.16 قسمت، یک حصهٔ آن است، یا $\frac{1}{273.16}$ حصهٔ این درجهٔ حرارت می‌باشد. مقدار این درجه یعنی درجهٔ کلوین مساوی به مقدار درجهٔ سانتی گرید می‌باشد.

**مــول:** در یک سیســتم، یک مــول عبارت از مقدار موادی اســت که تعــداد ذرات ابتدایی آن مســاوی بــه تعداد اتوم‌های 0.012kg کاربن 12 ($C^{12}$) باشــد. وقتی‌که از مول ســخن می‌گوییــم، باید که از ذرات ابتدایی مانند اتوم‌هــا، مالیکول‌ها، آیون‌ها، الکترون‌ها و یا ذرات دیگر طور مشخص یاد گردد.

کندیلا: کندیلا عبارت از شــدت روشــنایی اســت که هر گاه از یک منبع، شعاع یک رنگ با فریکونســی $540\times10^{12}$ هرتز در جهت معلوم پخش گردد و در این جهت در هر ستیرادیان زاویه، $\frac{1}{683}$ وات شدت روشنایی را به وجود آورد. باید گفته شود که 7 نوع واحدات ذکر شده بــا یک‌دیگر متقابــلاً رابطه نه دارند. یک تعداد کمیت‌های دیگــری وجود دارند که واحدات آن‌هــا بــه نام واحدات اشــتقاقی یاد می‌شــوند و از این واحدات اساســی از طریق معادلات مقداری تعریف شــده اند، در سیســتم SI واحدات اشتقاقی را در جدول ذیل مشاهده کرده می‌توانیم:





در یک تعداد کشورها به طور مشخص در کشورهایی که به لسان انگلیسی صحبت می‌نمایند، عوض سیستم SI واحدات دیگر به‌کاربرده می‌شوند. طور مثال عوض متر از فت یا انچ استفاده می‌نمایند، عوض کیلوگرام از سلگ کار می‌گیرند و عوض تن از پوند استفاده می‌کنند. این واحدات با واحدات SI طور ذیل رابطه دارند.

طول $\Leftarrow 6.21\times10^{-4}\,mile = 3.28\,ft = 39.4\,in = 1m$

مساحت $\Leftarrow 1.55\times10^{3}\,in^{2} = 10^{4}\,cm^{2} = 1m^{2}$ $\qquad 91.44cm = 0.9144m = 1\,yard$

حجم $\Leftarrow 10^{3}\,liters = 6.1\times10^{4}\,in^{3} = 35.3\,ft^{3} = 1m^{3}$

کتله $\Leftarrow 1\,slug = 14.59\,Kg$

وزن $\Leftarrow 1\,Lb = 4.45N \Rightarrow 1N = \frac{1}{4.45}Lb = 0.2247Lb$

وقت $\Leftarrow 1\,year = 365.24\,dey\,s = 8.76\times10^{3}\,hr = 5.26\times10^{5}\min = 3.156\times10^{7}s$

کثافت $\Leftarrow 1\,kg/m^{3} = 1\times10^{-3}\,g/m^{3} = 1.94\times10^{-3}\,slug/ft^{3}$

سرعت $\Leftarrow 1\,m/s = 3.28\,ft/s = 2.24\frac{miles}{hr} = 3.60\frac{Km}{hr}$

تعجیل $\Leftarrow 1\,m/s^{2} = 3.281\,ft/s^{2} = 3.60\,\frac{km/hr}{s}$

قوه $\Leftarrow \begin{cases} 1\,N = 10^{5}\,dynes = 0.225\,lb \\ 1\,liter = 4.45N = 16\,ounces \end{cases}$

فشار $\Leftarrow 1\,atmosphere\,(atm) = 1.013\times10^{5}\,\frac{N}{m^{2}} = 10\,13\,milibar = 14.7\,lb/in^{2}$

$= 2.12\times10^{3}\,lb/ft^{2} = 760cm\,of\,Hg$

## سوالات

1 - بــه نظر شــما بــرای مقادیر ذیل کدام یــک از واحدات را یک واحد مناســب می‌دانید؟

الف: وقتی‌که برای دیدن یک CD لازم است

ب : برای کتلهٔ یک موتر تیزرفتار

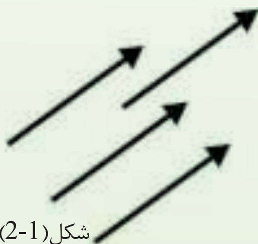
ج :برای طول یک میدان فوتبال
د: برای اندازه کردن قطر یک غوری
هـ: برای وقت یک سمستر مکتب شما
و: فاصله بین خانه و مکتب شما ________________
ز: برای کتلهٔ بدن شما
ح: برای اندازه کردن قد شما

## وکتور و سکالر:

در فزیک کمیات به دو نوع اند که عبارت از کمیات وکتوری و سکالری می‌باشد. کمیت وکتوری عبارت از آن کمیت فزیکی اســت که علاوه بر مقدار، توســط جهت نیز مشــخص می‌شود. طور مثال، برای توضیح مکمل یک قوه بالای یک جسم، باید جهت قوهٔ عامل و یک عدد، که مقدار قوه را نشان می‌دهد، هر دو مشخص گردد و توسط علامهٔ ( ⟶ ) نشان داده می‌شــود که به نام وکتور یاد می‌گردد. سکالر تنها مقدار دارد و دارای جهت نمی‌باشد. بعضی مثال‌های کمیت ســکالری عبارت از کتله، کثافت، چارج برقی، انرژی، درجهٔ حرارت، مساحت و وقت می‌باشد.

### بعضی خواص وکتور:

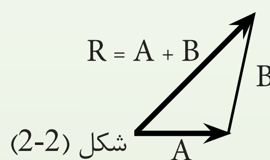
دو وکتور مساوی: دو وکتور A و B وکتورهای مساوی اند در صورتی‌که آن‌ها دارای مقادیر (طول) مســاوی و هم جهت باشــند. یعنی A و B باهم مساوی اند. آن‌ها تنها در صورتی که دارای عین جهت باشند. به طور مثال، تمام وکتورهای که در شکل نشان داده شده اند باهم مساوی اند، حتا اگر دارای نقاط آغاز مختلف هم باشــند. این خاصیت بیان می‌نماید که یک وکتور با خودش مساوی است، در حقیقت یک وکتور موازی به خودش حرکت کرده می‌تواند.


شکل(1-2)

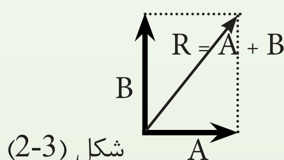
**جمـع کردن دو وکتور:** هر چند دراین مورد در صنف یازدهم به تفصیل بیشــتر مطالعه خواهید کرد، با آن هم در این صنف در حد ضرورت موضوعات را به طور فشرده توضیح می‌داریم:
زمانی‌که دو یا بیشــتر وکتورها باهم جمع می‌شــوند، باید تمــام وکتورها دارای واحدات

مشـــابه و در یک سیستم باشـــند. به طور مثال بی معنی خواهد بود که اگر وکتور سرعت را بـــا وکتور تغییر مکان جمع نماییم زیرا آن‌هـــا کمیات مختلف فزیکی اند. قواعد جمع کردن وکتورها توســط طریقه‌های هندســـی بیان می‌شــود. برای جمع کردن وکتور B با وکتور A نخست وکتور A را بالای کاغذ گراف رسم می‌نماییم و بعداً وکتور B را طوری رسم می‌کنیم که آغاز آن بالای انجام وکتور A باشد. چنان‌چه در شکل ذیل نشان داده شده است، وکتور محصله عبارت از(R=A+B) می‌باشد، که از آغاز وکتور A الی انجام وکتور B رسم می‌گردد. ایـــن طریقه به نـــام طریقهٔ جمع کردن مثلثی وکتورها یاد می‌شـــود. یک طریقهٔ دیگر جمع کردن گرافیکی دو وکتور که به نام قاعدهٔ متوازی الاضلاع یاد می‌شود در شکل (3-2) نشان داده شده است. دراین ساختمان آغاز وکتورهای A و B یک نقطه بوده و وکتور محصلهٔ R، قطر متوازی الاضلاع را تشـــکیل می‌دهد که وکتورهای A و B اضلاع آن می‌باشـــد. وقتی‌که دو وکتـــور را جمع می‌نماییم، مجموعـــهٔ آن به طریقهٔ جمع کردن ارتباط نه دارد. این حالت را می‌توانیم از ســـاختمان هندسی مشـــاهده نماییم، که به نام قانون تبدیلی در عملیهٔ جمع کردن یاد می‌شود، یعنی: (A+B=B+A)

هـــر گاه ســـه یا بیشـــتر وکتورها را با هم جمع کنیم، مجموعه شـــان مربـــوط به ترتیبی نمی‌باشد که در آن وکتورها به صورت جداگانه باهم جمع می‌شوند. ثبوت هندسی این سخن برای سه وکتور در شکل (4-2) داده شده است. این به نام قانون اتحادی در عملیهٔ جمع یاد می‌شود، یعنی: $A+(B+C)=(A+B)+C$

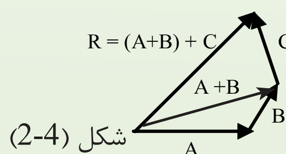


شکل (2-2)

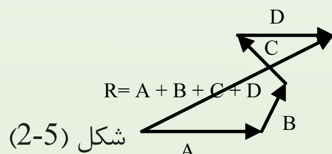


شکل (3-2)

هم‌چنان می‌توانیم ســـاختمان هندســـی را برای جمع کردن بیشـــتر از سه وکتور نیز به‌کار بریم. این حالت برای چهار وکتور در شکل (5-2) نشان داده شده است.



شکل (4-2)



شکل (5-2)

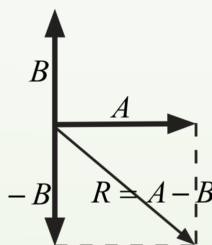
$R = A + B + C + D$ (وکتور محصله) این محصله وکتوری اســت که کثیرالاضلاع را تکمیل می‌نماید. به عبارت دیگر، R عبارت از وکتوری است که از آغاز وکتور اولی الی انجام وکتور نهایی رسم می‌شود. باز هم ترتیب جمع کردن مهم نیست.

**وکتور منفی:** وکتور منفی وکتورA عبارت از وکتوری است که هر گاه با A جمع شود نتیجۀ آن رقم صفر حاصل می گردد. یعنی $\vec{A} + (-\vec{A}) = 0$ وکتورهای A و A- مقادیر مشابه دارند، مگر انجام‌های شان در جهت‌های مخالف واقع اند.

تفریــق کردن وکتورها: در عملیۀ تفریق کردن وکتورها، از تعریف وکتور منفی اســتفاده می‌نماییــم. عملیۀ A-B را طوری تعریف می‌نماییم کــه در حقیقت وکتور B- با وکتور A جمع شده است، یعنی: (A-B)=A+(-B)

ساختمان هندسی برای تفریق کردن دو وکتور در شکل (6-2) نشان داده شده است.

$$A - B = A + (-B).........$$




شکل (6-2)

ضرب یک سکالر با یک وکتور: اگر با وکتور A یک کمیت مثبت سکالری mضرب گردد، حاصل ضرب mA وکتوری است که دارای جهت مشابه به A و مقدار mA می‌باشد، و اگر m یک کمیت منفی باشد، وکتور mA دارای جهت مخالف A می‌باشد.

## 2-4: اشتباه در اندازه‌گیری

هر کار تجربی از اشتباه خالی نمی‌باشد، مگر مهم این است که این اشتباه به کوچک‌ترین حد برسد تا یک نتیجۀ صحیح حاصل گردد.

گاهی انســان‌ها آلــۀ اندازه‌گیری را غلــط می‌خوانند و گاهی هم ثبــت (نتیجه) را غلط می‌نمایند و بالآخره سبب اشتباه می‌گردند.

اشتباه یا به وسیلۀ انسان‌ها به وجود می‌آید و یا ذریعۀ وسایل اندازه‌گیری ایجاد می‌شود.





اشتباهی که توسط انسان‌ها به وجود می‌آید، ذریعهٔ تکرار زیاد اصلاح شده می‌تواند، گاه گاه انسـان‌ها برای اندازه کردن یک شی از روش‌های مختلف استفاده می‌نمایند. این نوع اشتباه را به نام اشـتباه میتودی یاد می‌نماید و این اشـتباه زمانی اصـلاح می‌گردد که یک میتود معیاری به وجود آید. طور مثال، وقتی‌که ذریعهٔ یک خط کش طول را اندازه می‌نماییم، پس در وقت خواندن باید دید خود را طور عمودی و مستقیم حفظ نماییم و اگر در وقت خواندن از یک طرف و یا طرف دیگر برایش نگاه کنیم اشتباه به میان می‌آید. اشتباهی که ذریعهٔ آلهٔ اندازه‌گیری به وجود می‌آید، به نام اشـتباه ابزاری (Instrumental error) یاد می شود، و هر زمانی که این آله مورد استفاده قرار می‌گیرد این اشتباه همرایش می‌باشد. این نوع اشتباه یک جانبه می‌باشد، به این معنی که اگر اندازه‌گیری توسط این آله صورت بگیرد و یک کمیت فزیکی را بیشـتر نشان بدهد، پس همیشـه آن‌را زیاد نشان خواهد داد. طور مثال، اگر سرعت حرکت یک ساعت زیاد باشد همیشه وقت را پیشتر نشان می‌دهد و اگر فرضاً حرکت آن کُند باشد، همیشه وقت را به عقب نشان می‌دهد. وسایلی که در لابراتوار مورد استفاده قرار می‌گیرد باید همیشه طور درست کار نمایند و اگر چنین نباشد، پس همیشه در اندازه‌گیری اشتباه به وجود می‌آورد. دیده خواهید بود گاه گاه ترازویی که در لابراتوار مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد و دستهٔ آن درست کار نکند سبب اشتباه می‌گردد.

**سوالات**

1 -به صورت عمومی‌اشتباه یا توسط .................... و یا ذریعهٔ .................... به وجود می‌آید.

2 - اشتباه میتود به وسیلهٔ ایجاد .................... اصلاح شده می‌تواند.

3 - اشتباهی که به سبب نقص آله به وجود می‌آید .................... یاد می‌شود.

4 -هر کار تجربی از .................... خالی نمی‌باشـد، مگـر باید به .................... حالت خود آورده شود.

## 2-5: تحلیل و تجزیهٔ ابعاد

مقادیر کمیات فزیکی باید توسـط واحداتی نشـان داده شـود که در مطابقت با بعد آن کمیت باشد. طور مثال، اندازهٔ طول نمی‌تواند توسط کیلوگرام نشان داده شود زیرا که واحد کیلوگرام برای ارایه بُعد کتله می‌باشـد. بسـیار مهم اسـت که مطمئن شویم مقادیر توسط واحداتی نشان داده شده است که مطابقت به بعد مربوط نماید.

یک تخنیک خیلی عالی که به صورت عمومی‌در حل ســوالات فزیک از اشتباه جلوگیری می‌نماید این اســت که در جواب سوال، واحدات درست باشد و دیده شود که در مطابقت به ابعاد به‌کار برده شــده باشد. مسئلهٔ مهم دیگر این اســت که نه تنها باید واحدات با ابعاد در مطابقت باشد، بلکه عین واحد باید به‌کار برده شود. غرض روشنی بیشتر موضوع، مثال ذیل را در نظر می گیریم:

دو شاگرد مساحت یک اتاق را دریافت می‌نمایند. یک شاگرد طول را توسط متر و شاگرد دیگــر عرض را به ســانتی متر پیدا می کند، یعنــی: $20,35m$ و $1250cm$ مگر زمانی‌که آن‌ها مساحت را دریافت می‌نمایند، طول را در عرض ضرب می کنند. توضیح و بیان این واحد جواب یعنی به (m.cm) خیلی مشــکل اســت. ولی اگر هر دو شــاگرد طول و عرض را از جنس متر دریافت نمایند، یعنی $20.35m$ و $12.5m$و بعداً برای پیداکردن مساحت سطح، طول و عرض را با هم ضرب نمایند، جواب از جنس $m^2$ حاصل خواهد شد و توضیح و بیان این جواب خیلی آسان است.

وضاحت ندارد
$$\begin{cases} 20\cdot35m \\ \underline{\times12.50cm} \\ 25437.5\, m\times cm\,? \end{cases}$$

وضاحت دارد
$$\begin{cases} 20.35\, m \\ \underline{\times12.5m} \\ 254.375\, m^2 \end{cases}$$

با وجود این هم اگر اندازه‌گیری توسط واحدات مختلف صورت گرفته باشد، چنان‌چه در مثال فوق یک اندازه‌گیری توســط m و دیگرآن توســط cm انجام شده است، مگر می‌تواند این‌هــا با آســانی به یک‌دیگر تبدیل گردند. زیرا کــه m و cm هر دو واحدات طول اند. این را نیــز باید به خاطر داشــته باشــیم که هر گاه واحــدات از سیســتم‌های مختلف مثلاً متر (meters) و فت (fetes) داده شده باشند، آن را نیز باید قبل از این‌که به حل کردن سوال آغاز نماییم، واحدات را به یک‌دیگر تبدیل نماییم و در یک سیستم بیاوریم.

مثــال: کتلــهٔ یک بکتریای مخصوص 2.0fg (فمتوگرام) اســت. این مقدار را به gr و kg دریافت نمایید، (در کتاب فزیک درمورد واحدات جدول داده شده است).

a) اگر خواســته باشــیم این کتله را به g نشان دهیم، با اســتفاده از جدول چنین عمل می‌کنیم:
$$2.0\, fg\,(\frac{1\times10^{-15}g}{1\, fg} = 2.0\times10^{-15}\, g$$

b) بــه عین ترتیب می‌توانیم با اســتفاده از جــدول، گرام را به کیلوگــرام این‌طور تبدیل نماییم:

$$2.0\times10^{-15}\, g\,(\frac{1kg}{1\times10^{3}\, g}) = 2.0\times10^{-18}\, kg$$





**سوال:**

اگر یک قوه را که توسط نیوتن یا $Kg\ m/s^2$ ارایه شده باشد بالای سرعت تقسیم نمایید، جواب آن کدام واحد را می‌دهد؟

## سوالات اخیر فصل

1 - واحد طول در سیستم SI عبارت است از:

a. انج		c.متر

b. فت		d.کیلو متر

2 - یک سال نوری عبارت از فاصله‌یی است که نور آن‌را در زمان یک سال طی می‌نماید و قیمت عددی آن 9500000000000km می‌باشد، این فاصله چند مترا ست ؟

a. $9.5\times10^{10}\ m$		b. $9.5\times10^{12}\ m$

c. $9.5\times10^{14}\ m$		d. $9.5\times10^{18}\ m$

3 - اگر در اندازه‌گیری یک طول نظر خود را طور مســـتقیم به اندازه‌گیری خود حفظ نه نمایید، اندازه‌گیری شما از کدام جانب متاثر خواهد گردید.

a. اندازه‌گیری شما کمتر دقیق خواهد بود.

b. اندازه‌گیری شما کمتر صحت خواهد داشت.

c. در اندازه‌گیری شما تعداد کمتر ارقام قابل ارزش موجود خواهد بود.

d. در اندازه‌گیری شما توسط آلهٔ اندازه‌گیری اشتباه موجود خواهد بود.

4 - اگر در یک اندازه‌گیری، طول یک پنســـل را توســـط واحد سانتی متر گزارش بدهید، چند رقم قابل ارزش را خواهید داشت؟

5 - برای یک معادلهٔ صحیح فزیکی کدام یک از جملات ذیل درست است؟

a) هر دو طرف معادله باید دارای عین متحولین باشند؟

b) به هر دو طرف معادله باید متحولین موجود باشند نه اعداد.

c) به هر دو طرف معادله باید عین ابعاد (کمیات فزیکی) موجود باشد.

d) به هر دو طرف باید اعداد موجود باشد نه متحولین.

6 - در مقادیر ذیل چند رقم با ارزش وجود دارد؟

a. $300000000\,m/s$    b. $3.00\times10^{8}\,m/s$

c. $25.030\,C^{\circ}$    d. $0.006070\,C^{\circ}$

e. $1.004\,j$    f. $1.30520\,MHz$

7 - سرعت نور $2{,}99792458\times10^{8}\,m/s$ شناخته شده است. سرعت نور را به طریقه‌های ذیل نشان دهید.

a) توسط سه رقم با ارزش.

b) توسط پنج رقم با ارزش.

c) توسط هفت رقم با ارزش.

8 - در مقادیر ذیل چند رقم با ارزش وجود دارد؟

a. $78.9\pm0.2\,m$    b. $3.788\times10^{9}\,s$

c. $2.46\times10^{6}\,Kg$    d. $0.0032\,mm$

9 -پیریود یک رقاصهٔ ساده (که دارای بعد واحد وقت است) توسط معادلهٔ ذیل داده شده است: $T=2\pi\sqrt{l/g}$

در این معادله i طول رقاصه و تعجیل جاذبهٔ زمین است. آیا این معادله از نظر ابعاد درست است؟

10 -وسیلهٔ تحلیل ابعاد همان بعد را نشان دهید که در نتیجهٔ تقسیم فاصله بالای سرعت حاصل می‌شود.

11 -حاصل جمع ذیل را بدست آرید و نتیجه را توسط متر نشان دهید. قوانین ارقام قابل ارزش را پیروی نمایید.

$$(25.873\,km)+(1024\,m)+(3.0\,cm)=?$$





# نور

شما در هنگام روز اشیای اطراف خود را می‌بینید، ولی در شب چیزی را دیده نمی‌توانید. چرا؟ در جواب حتمی‌می‌گویید که در هنگام روز به خاطری اشـــیا را می‌بینیم که زمین توسط آفتاب روشن می‌شود. مگر در شب که تاریکی می‌باشد، هیچ چیزی معلوم نمی‌شود و اگر مهتاب باشد، اشیا قسماً روشن دیده می‌شوند.

از این جا واضح می‌گردد که نور، ســـبب دیدن اشیا می‌گردد؛ بنابراین گفته می‌توانیم که نور، عامل طبیعی است که اشیا را قابل رؤیت می‌سازد و اگر نور نباشد هیچ چیز دیده نمی‌شود، بنابراین سؤال به وجود می‌آید که نور چیست؟ نور چگونه انتشار می‌نماید؟ نور به کدام سرعت انتشار می‌نماید؟ عمل متقابل نور با ماده چگونه است؟ انعکاس نور چیست؟ قوانین انعکاس کدام‌ها اند؟ و آشکار است که بعضی اجسام، نور را به صورت منظم منعکس می‌نماید که این نوع اجســـام، آیینه‌ها نامیده می‌شـــوند، پس ســـؤال می‌شود که آیینه‌ها چگونه اجســـامی‌اند؟ چند نوع اند؟ تصویر در آیینه‌ها چگونه تشکیل می‌گردد؟ معادلات آیینه چگونه اند و چطور حاصل می‌شوند؟ به این سؤالات و سؤالات مشابه به آن می‌توانید با مطالعۀ این فصل، جواب ارایه نمایید.



## خواص نور

اکثریت مردم در مورد حالت ظاهری نور فکر می‌کنند؛ مانند جلا و سفیدی نور که توسط منبع نور مثل آفتاب تولید می‌شود. با وجود این‌که نور به رنگ های دیگر نیز وجود دارد؛ طور مثال هرگاه شما یک پارچهٔ شیشـــهٔ ســـبز یا پلاستیک را در مقابل نور سفید قرار دهید، در عقب آن نور سبز را می‌بینید. این حادثه برای رنگ‌های نور نیز صدق می‌نماید.

چشمان ما هفت رنگ را تشخیص کرده می‌توانند که عبارتند از: رنگ‌های سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش که بعد از عبور نور سفید از یک منشور رنگ‌های متذکره حاصل می‌گردد.

خاصیت دیگر نور، انعکاس است. به خاطر درک مفهوم انعکاس فرض نمایید که شما موهای سرتان را اصلاح می‌کنید و می خواهید بدانید که عقب سر شما چگونه معلوم می‌شود. شما می‌توانید این کار را با استفاده از دو آیینه که نور را از قسمت عقب سر شما به طرف چشمان تان جهت می‌دهد انجام دهید. همانگونه که گفته شـــد، جهت دادن دوباره برای نور توســـط آیینه‌ها خاصیت عمل متقابل نور با ماده را نشـــان می‌دهد. در یک مادهٔ منظم؛ مانند هوا، آب یا خلا، نور به امتداد خط مســـتقیم انتشار می‌یابد که این هم یک خاصیت نور اســـت. اگر نور با مواد مختلف برخورد نماید، مسیر آن تغییرمی‌نماید؛ ولی اگر مادهٔ مکدر (تاریک) مانند سطح میز چوبی که صیقلی باشد، نور از آن عبور نخواهد کرد. مگر یک قسمت نور جذب گردیده و باقیماندهٔ آن دوباره منعکس می‌شـــود. این تغییر جهت نور یا منعکس شـــدن آن به نام انعکاس یاد می‌گردد. تمامی‌اجسام یک قسمت نور وارده را جذب می‌کنند و باقیماندهٔ آن را منعکس می‌نمایند. در یک مادهٔ شفاف و نیمه شفاف، نور جذب شده نیز مسیر خود را تغییر می‌دهد که این حادثه را به نام انکسار یاد می‌نمایند، که این هم یک خاصیت مهم نور است.

### سوالات

1. رنگ سفید متشکل از کدام رنگ‌ها است؟
2. چشمان ما چند رنگ را تشخیص کرده می‌توانند.
3. خواص نور کدام‌ها اند؟
4. انعکاس چیست؟

## 3-1: انتشار نور

در وقت آفتاب بر آمد، آن قسمت زمین که به طرف آفتاب واقع است روشن می‌شود. در هنگام شب چراغ روشن را که از ما به فاصلۀ زیاد قرار دارد، می‌بینیم. این که از آفتاب نور به زمین می‌رسد و یا نورچراغ به چشمان ما می‌رسد و آن‌را می‌بینیم، علت آن این است که از اشیای متذکره نور انتشار می‌یابد و از هوای آزاد عبور می‌نماید. محیطی که نور از آن عبور کرده می‌تواند به‌نام محیط شفاف یاد می‌شود و محیطی که از آن نور عبور کرده نمی‌تواند به‌نام محیط غیر شفاف یاد می‌گردد.

**به پرسش‌ها ذیل جواب بدهید:**

1. چرا از طرف بیرون، اشیای داخل یک صندوق فلزی یا چوبی دیده نمی‌شود؛ ولی داخل صندوق شیشه‌یی دیده می‌شود؟
2. نام‌های چند مادۀ شفاف و غیر شفاف را بگیرید که شما می‌شناسید.

چون قبلاً از آفتاب و چراغ به‌حیث منابع نور یادآوری شـــد، این بهتر خواهد بود که منبع وسیع و منبع نقطه‌یی نور را بشناسیم.

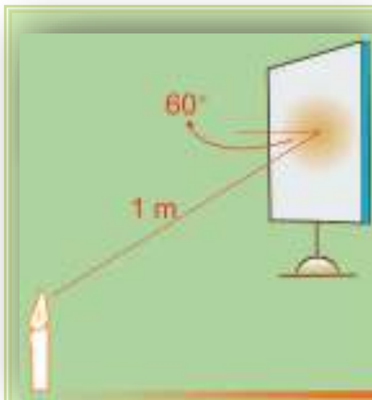
**فعالیت**

مواد مورد ضرورت:

دو چراغ دستی، مقوای کاغذی و سوزن.

**طرزالعمل:**

توسط سوزن در مقوای کاغذی سوراخ کوچکی را ایجاد نموده و آن‌را در مقابل چراغ دستی طوری قرار دهید که نور منتشر شده به‌دیوار بیفتد. چراغ دیگر را مستقیم به‌سمت دیوار روشن کنید. در موردمشاهدات خود باهمدیگر بحث کنید.




شکل (3-1)

شما خواهید دید که نور بعد از عبور از سوراخ کوچک منتشر می گردد. چراغ دستی و شمع روشن به نام منبع وسیع نور یاد می شوند و سوراخ مقوای کاغذی که به حیث یک منبع کوچک نور عمل می نماید به نام منبع نقطه یی نور یاد می گردد. ولی هر گاه چراغ دستی یا شمع روشن از فاصله یی دیده شود که ابعاد چراغ دستی یا شمع با این فاصله قابل مقایسه نباشد، یعنی ابعاد آن به مقایسۀ فاصلۀ دید قابل صرف نظر باشد. پس چراغ دستی و شمع روشن نیز مانند منابع نقطه یی دیده می شوند.

### 3-1-1: بستهٔ نوری

برای این‌که بدانیم نور چگونه انتشار می‌نماید، نخست باید بستهٔ نوری و اشعه نوری را بشناسیم. در شکل (3-2) ذیل شما مسیر نور را در وقتی می‌بینید که نور از درز بین دروازه و دیوار عبور می‌کند. مسیری نوری که از درز یا سوراخ عبور می‌کند، به روی زمین یک بستهٔ نوری را نشان می‌دهد. بستهٔ نوری، که دارای مقطع عرضی خیلی کوچک باشد به نام اشعه یاد می‌شود. در حقیقت گفته می‌توانیم که مجموعهٔ چندین اشعهٔ نوری، یک بسته نوری را تشکیل می‌دهد. با مشاهدهٔ بسته نوری می‌توانیم مسیر نور را تشخیص دهیم.



شکل (3-2)

**فعالیت**

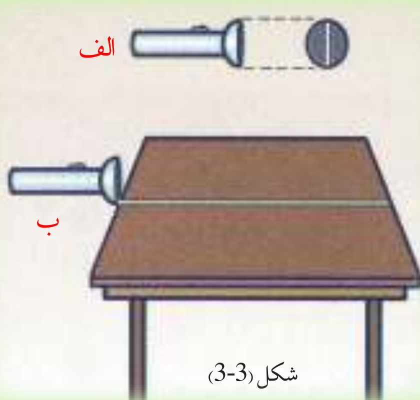
هدف: مشاهدهٔ بسته نوری و تشخیص مسیر نور.

مواد مورد ضرورت:

چراغ دستی، کاغذ مقوا، پرکار، قیچی، چاقو، سکاشتیپ

## طرزالعمل

1. از مقوای کاغذی به اندازهٔ شیشهٔ چراغ دستی دایره‌یی را قطع نمایید.
2. در مقوا یک درز مطابق شکل (3-3) ذیل با عرض یک الی دو ملی متر ایجاد کنید.
3. مقوا را بر روی شیشهٔ چراغ دستی طوری نصب نمایید که آن‌را به صورت مکمل بپوشاند و از اطراف آن نور بیرون نگردد.
4. در محلی که خیلی روشن نباشد چراغ دستی را به کنار میز قرار دهید.
5. چراغ دستی را روشن نمایید، شما به‌روی میز، بستهٔ نوری را خواهید دید.




شکل (3-3)

## 3-1-2: انتشار نور به خط مستقیم

انتشار نور به خط مستقیم را طی اجرای فعالیت ذیل مطالعه می‌نماییم.



**فعالیت**

**مواد مورد ضرورت**

شمع، گوگرد، چند مقوای کاغذی، چاقو

**طرزالعمل**

1. شمع را روی میز قرار داده و آن‌را روشن نمایید.
2. توسط چاقو در قسمت وسط دو مقوا یک سوراخ به وجود آورید.
3. هرسه مقوا را در مقابل شمع روشن طوری قرار دهید که دو مقوای سوراخ شده در جلو و مقوای سوم در عقب باشد.
4. مشاهدات خود را انجام دهید و بگویید که مقواهای سوراخ شده چگونه واقع شوند تا نور بالای مقوای سوم وارد گردد و در کدام حالت نور بالای آن وارد نمی‌شود. در مورد مشاهدات خویش بحث نمایید.

بعد از اجرای فعالیت فوق به این نتیجه خواهید رسید که نور به خط مستقیم انتشار می کند.

## 3-1-3: سرعت نور

می‌دانیم که نور آفتاب به زمین می‌رسد و زمین را روشن می‌نماید، در شب، نور چراغ سبب رؤیت اشیا می‌گردد. نتیجه می‌شود که نور از یک منبع پخش می‌گردد و روشنی آن به فاصله‌های زیاد می‌رسد و اشیا را قابل رؤیت می‌سازد، پس لازم است بدانیم که نور به کدام سرعت پخش می‌گردد.

در زمانه‌های قدیم که تخنیک زیاد انکشاف نکرده بود، کوشش‌های تعیین سرعت نور ناکام گردیده بودند؛ زیرا نور دارای بیشترین سرعت است. مگر زمانی که تخنیک انکشاف نمود به خصوص در قرن بیستم، سرعت نور به دقت بهتری اندازه گیری گردید. در وسط قرن بیستم اشتباه تجربی اندازه گیری سرعت نور از $0.001$ فی صد نیز کاهش یافت. سرعت قبول شدهٔ نور در خلا $2.99792458\times10^8\ m/s$ می‌باشد. سرعت نور در هوا نسبت به این قیمت اندک کوچک‌تر، یعنی $2.99709\times10^8\ m/s$ است. در محاسبات سرعت نور در هوا و خلا $3.00\times10^8\ m/s$ در نظر گرفته می شود.





## 3-2: اثر متقابل بین نور و ماده

برای این‌که چگونه گی عمل متقابل بین نور و ماده را درک نماییم فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم.

**فعالیت**

مواد مورد ضرورت: یک ظرف شیشه‌یی، کاغذ مقوا، چراغ دستی، پودر (گرد) تباشیر.



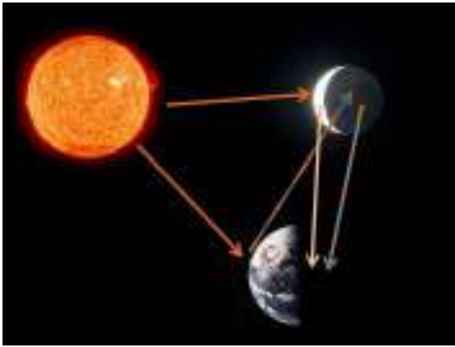

شکل (4-3)

### طرزالعمل

فعالیت در یک اتاق نسبتاً تاریک اجرا گردد. ظرف شیشه‌یی را مملو از آب نموده و پودرتباشیر را در آن مخلوط نمایید و آن‌را بالای میز بگذارید. چراغ دستی را روشن کرده و نور آن‌را مانند شکل در امتداد SA به سطح آب وارد نمایید. مشاهدات خویش را با هم صنفان تان شریک سازید.

شما به کمک غبار تباشیر در اتاق و ذرات تباشیر در آب مشاهده خواهید کرد که: اشعهٔ SA بعد از ورود بالای سطح آب به دو قسمت تقسیم می‌گردد. یک قسمت آن در امتداد AR برگشت کرده و در هوا منتشر می‌گردد. درین حالت گفته می‌شود که نور منعکس گردیده است. اشعهٔ SA را اشعهٔ وارده و اشعهٔ AR را اشعهٔ منعکسه می‌گویند. قسمت دیگر آن در امتداد AP داخل آب می‌گردد، مگر مسیر آن تغییر می‌نماید. این حالت را انکسار می‌گویند که بعداً مطالعه خواهید گردید.

## 3-3: **انعکاس**



شکل (3-5)

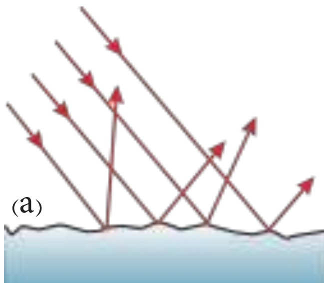


شکل (3-6)

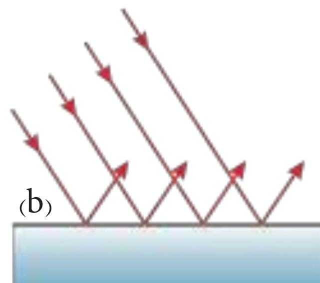
می‌دانیم که مهتاب خودش نور ندارد، پس چرا در هنگام شب سطح آن روشن معلوم می‌شود؟ و یا اگر در هنگام شب به اتاقی داخل شوید که در آن جا هیچ روشنی نباشد. آیا اشیای داخل اتاق را می‌بینید؟ ولی اگر چراغی را در آن روشن نمایید درین صورت چطور؟ واضح است که در این حالت هر چیز را می‌بینیم، پس علت آن چیست؟ زمانی‌که چراغی در اتاق روشن گردد، به سبب انتشار نور در اتاق و برگشت آن از سطح اشیا و رسیدن آن به چشمان ما اشیا دیده می‌شود. مهتاب نیز همین گونه دیده می شود، شکل (3-5).

در این حالت نور یک مرتبه از سطح شی برگشت کرده است. بعضی اوقات طوری واقع می‌شود که یک شی به وسیلهٔ دو مرتبه برگشت نور دیده شود؛ مانند شکل (3-6).

این‌که چگونه نور از یک سطح منعکس می‌گردد، مربوط به همواری سطح می‌باشد. زمانی‌که نور از یک سطح ناهموار طور مثال چوب صیقل ناشده برگشت می‌نماید، شعاع‌های آن در بسیاری جهات منعکس می‌گردد؛ مانند شکل (3-7a). این انعکاس غیر منظم است. هر گاه نور از یک سطح هموار جلا دار مانند آیینه یا سطح آب یک حوض منعکس گردد، انعکاس تنها در یک جهت صورت می‌گیرد، چنانکه در شکل (3-7b) نشان داده شده است که این نوع انعکاس را انعکاس منظم گویند.





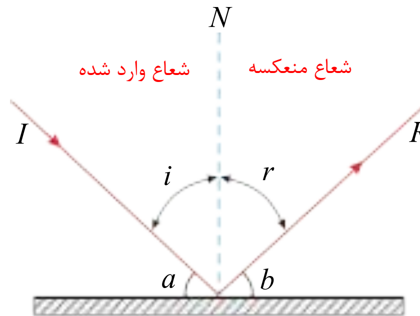




انعکاس منظم — شکل (3-7) — انعکاس غیر منظم



در شـــکل (8-3) ذیل اشـــعهٔ وارده (I)، اشعهٔ منعکسه(R)، خط عمود بالای سطح (N)و زاویای وراده($i$) و منعکسه ($r$) نشان داده شده اند.




شکل (8-3) انعکاس نور از سطح یک آیینه

### فعالیت

هدف: مطالعهٔ رابطه بین زاویهٔ وارده و زاویهٔ منعکسه

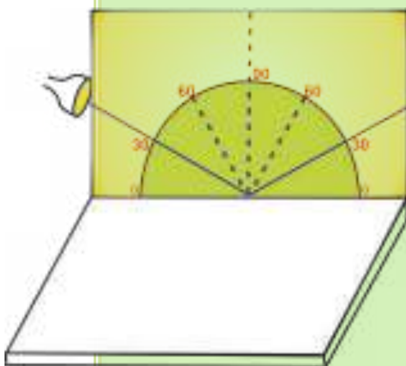
مواد مورد ضرورت

مقوای کاغذی، نقاله، آیینه، چراغ دستی

## طرزالعمل

شاگردان در گروپ‌ها مراحل ذیل را انجام دهند.

1. روی مقوا مطابق شکل (9-3) یک نقاله را رسم نمایید.
2. آیینه را روی میز بگذارید.
3. مقوا را در کنار آیینه به طور عمود نصب نمایید.
4. چراغ دستی را روشـــن کرده و نور آن‌را تحت یک زاویهٔ معین بـالای آیینـه وارد نمایید، طوری‌کـه نور منعکسه بالای




شکل (9-3)

سطح دیده شود.

5. در این حالت اندازهٔ زاویهٔ منعکسه را که بالای نقاله آشکار می‌گردد با زاویهٔ وارده مقایسه نمایید.

6. فعالیت را برای زوایایی $0^o$ , $30^o$ , $60^o$ و $90^o$ انجام دهید.

7. زوایای وارده و منعکسه را در هر مرتبه اندازه نموده و مانند جدول زیر یادداشت کنید.

| زاویه وارده | $60^o$ | $30^o$ | $0^o$ | $90^o$ |
|---|---|---|---|---|
| زاویه منعکسه | $60^o$ | | | |

8. نتیجهٔ فعالیت را با یکدیگر شریک نمایید.

یادداشت: زوایای داده شدهٔ نقاله با زوایای وارده و منعکسه مساوی نیست.

اگر فعالیت را به دقت انجام داده باشید، به این نتیجه می‌رسید که زاویهٔ وارده و زاویهٔ منعکسه با یکدیگر مساوی اند.

## 3-3-1: قوانین انعکاس

از فعالیت‌های فوق نتایج ذیل به‌دست می‌آید که به‌نام قوانین انعکاس یاد می‌شود:

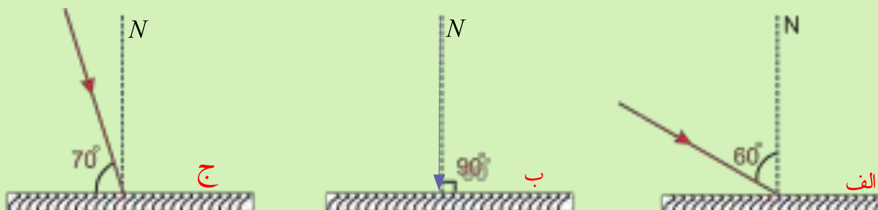
الف: اشعهٔ وارده، اشعهٔ منعکسه و خط عمود یا نارمل در یک مستوی واقع اند.

ب: زاویهٔ وارده $\hat{i}$ و زاویهٔ منعکسه ($\hat{r}$) با یکدیگر مساوی اند، یعنی:

$$\hat{i} = \hat{r}$$

**فعالیت**

در اشکال ذیل برای هر زاویهٔ وارده، زاویهٔ منعکسه و اشعهٔ منعکسهٔ آن‌را رسم نمایید.

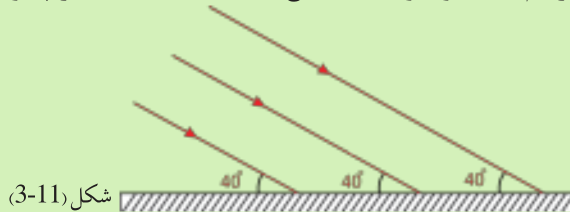



شکل (3-10)

رسم های خود را با یکدیگر مقایسه نمایید.

### فعالیت

1. در شکل (3-11) زاویه های منعکسهٔ هر اشعهٔ وارده را تعیین نمایید.
2. زوایای وارده با یکدیگر چگونه اند؟
3. شعاع‌های منعکسه را رسم نمایید و بگویید که شعاع‌های منعکسه با یکدیگر چگونه اند؟



شکل (3-11)

## آیینه‌های مستوی


شکل (3-12) تصویر پنسل در آیینهٔ مستوی

شما در شکل چه را می‌بینید؟ تصویر پنسل را در آیینه چگونه می‌بینید؟ کدام تصویر را مجازی می گویند؟

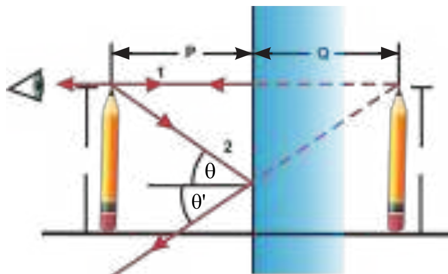
سطح هموار و صیقلی که نور را به طور منظم انعکاس دهد آیینه مستوی گفته می شود. هر گاه یک شی مانند پنسل در پیش روی یک آیینهٔ مستوی به یک فاصله، عمود قرار داده شود از هر نقطهٔ آن اشعهٔ نوری بالای آیینه وارد می‌شود و از سطح آیینه منعکس می گردد. بینندهٔیی که به آیینه نگاه می کند طوری برایش معلوم می‌شود که اشعه از آن طرف آیینه، از یک محل منشأ گرفته است، یعنی تصویر شی در عقب آیینه در همین محل واقع است، زیرا طوری معلوم می‌شود که نور از این نقطه منشأ گرفته است. فاصلهٔ شی از آیینه (p) و فاصلهٔ تصویر از آیینه (q) با همدیگر مساوی اند؛ هم چنین شی و تصویر از نظر بزرگی مساوی می‌باشند.

تصویری که از تقاطع امتداد یافته شعاع های منعکسه تشکیل می شود، به نام تصویر مجازی یاد می‌شود؛ چنانکه در شکل (3-12) نشان داده شده است. آیینهٔ مستوی همیشه تصویر مجازی تشکیل می‌دهد و طوری معلوم می‌شود که در عقب سطح آیینه واقع است. تصویر مجازی را بالای پرده یا جسم دیگر نشان داده نمی‌توانیم.

**چگونه می توانید موقعیت تصویر پنسلی را که در پیش روی آیینه مستوی قرار دارد پیدا نمایید؟**

به این پرسش توسط دیاگرام شعاعی که موقعیت تصویر را نشان می‌دهد، جواب گفته می‌توانیم.

طریقۀ دیاگرام شـعاعی در شکل (3-13) نشان داده شده است؛ چنانکه می‌بینید تصویر یک پنسل ایستاده در پیش روی یک آیینۀ مستوی توسط ترسیم هندسی ساده در عقب آیینه دریافت شده است. برای دریافت تصویر پنسل، نخست موقعیت و وضعیت آیینه و هم‌چنان موقعیت پنسل را رسم نمایید. در هنگام ترسیم، فاصلۀ شی را از آیینه توسط p و فاصلۀ تصویر را از آیینه توسط q نشان دهید. به خاطر آسانی موضوع تنها نوک پنسل را در نظر بگیرید.




شکل (3-13) اندازه و موقعیت تصویر پنسل در آیینه مستوی

بـه خاطر این‌کـه موقعیت تصویر نوک پنسـل را تعیین نمایید، شـما در دیاگرام خـود از این نقطه دو اشـعه را رسم نمایید. اشعۀ اولی را طوری رسم نمایید که از نوک پنسل بالای سطح آیینه عمود باشد.

چون این اشعه با عمود بالای سطح آیینه (نارمل) زاویۀ صفر درجه را تشکیل می‌دهد، پس زاویۀ انعکاس نیز صفر درجه می‌باشد؛ بنابر این اشعه روی خودش منعکس می گردد.

در شکل فوق این اشعه توسط عدد1 نشانی شده است، و هر دو جهت آن ذریعۀ وکتورها نشان داده شده است. اشعۀ دوم را از نوک پنسل بالای سطح آیینه طوری رسم نمایید که بالای سطح آیینه عمود نباشد؛ بلکه با عمود بالای سطح، زاویۀ $\theta$ را تشکیل بدهد. در شکل فوق اشعۀ دوم توسط عدد 2 نشان داده شده است. اشعۀ منعکسه را طوری رسم نمایید که بعد از انعکاس از آیینه با نارمل، زاویۀ $\theta'$ تشکیل بدهد. زاویۀ $\theta$ با زاویۀ $\theta'$ مساوی می‌باشد. بعد هر اشعۀ منعکسه را در عقب آیینه امتداد دهید تا یکدیگر را قطع نمایند. زمانی‌که این اشعه را رسم می‌نمایید از خطوط نقطه چین استفاده نمایید، تا این شعاع‌ها از اشـعۀ حقیقی که در پیش روی آیینه توسـط خطوط ضخیم نشان داده شده اند، تمیز گردند. نقطۀ تقاطع این خطوط نقطه چین در عقب آیینه، تصویر است که درین حالت تصویر، نوک پنسل را تشکیل می‌دهد. به این ترتیب، شما می‌توانید تصویر هر نقطۀ قسمت‌های دیگر پنسل را ترسیم و تصویر مکمل مجازی پنسل را دریافت نمایید. گفتنی است که فاصلۀ تصویر در عقب آیینه مساوی به فاصلۀ پنسل از آیینه است $(p = q)$ . هم‌چنان طول یا ارتفاع (h)شی مساوی به ارتفاع $(h')$ تصویر می‌باشد.

دیاگرام شعاعی برای دریافت تصویر هر شی که در مقابل آیینهٔ مستوی قرار داشته باشد به‌کار برده می‌شود. برای مشاهدی که در پیش روی آیینه واقع باشد تصویر تشکیل شده توسط آیینهٔ مستوی متناظر شی معلوم می‌شود. شما می‌توانید این اثر را با گذاشتن یک پارچهٔ تحریر شده در پیش روی آیینه ببینید، چنانکه در شکل (3-14) نشان داده شده است. در آیینه هر حرف معکوس دیده می‌شود؛ هم‌چنان شما دیده می‌توانید که حرف و تصویر منعکسهٔ آن نسبت به آیینه عین زاویه را تشکیل می‌دهد.




شکل (3-14)

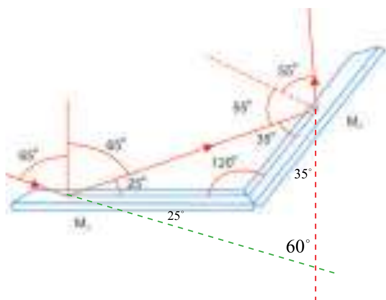
## ۳–۳–۲ آیینه‌های متلاقی

تا این جا با آیینه‌های مستوی و چگونه‌گی تصویر در آن‌ها آشنا شدید. حال پرسش به وجود می‌آید که هرگاه دو آیینهٔ مستوی با یکدیگر یک زاویه را تشکیل بدهند و یک اشعه بالای یک آیینه وارد گردد، چه واقع می‌شود؟

به پرسش با ذکر یک مثال جواب می‌دهیم:

### مثال

دو آیینهٔ $M_1$ و $M_2$ را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل زاویهٔ $120^\circ$ را با یکدیگر تشکیل می‌دهند. یک اشعه بالای آیینهٔ $M_1$ طوری وارد می‌شود که با عمود بالای آیینه زاویهٔ $65^\circ$ را تشکیل می‌دهد. جهت اشعه را بعد از انعکاس از آیینهٔ $M_2$ دریافت نمایید.




شکل (3-15) انعکاس نور در آیینه های متلاقی

**حل**:

شکل (3-15) به درک این حالت کمک می کند. اشعهٔ وارده از آیینهٔ اولی منعکس می گردد و اشـــعهٔ منعکســـه به طرف آیینهٔ دومی‌پخش می گردد. در آن‌جا توســـط آیینهٔ دومی‌منعکس می‌شـــود. برای تحلیل مســـأله از قانون انعکاس استفاده می‌نماییم. می‌دانیم که اشعهٔ منعکسهٔ اولی با عمود زاویهٔ $65^\circ$ را تشـــکیل می‌دهد. از این جا اشـــعه با افق زاویهٔ $25^\circ = 90^\circ - 65^\circ$ را تشکیل می‌دهد.

در مثلثی که توســـط اشـــعهٔ منعکسه اولی و دو آیینه تشـــکیل می گردد، دیده می‌شود که اشعهٔ منعکسه اولی با آیینه $M_2$ زاویهٔ $35^\circ$ را تشکیل می‌دهد؛ زیرا مجموعهٔ زوایای داخلی هر مثلث $180^\circ$ می‌باشد؛ بنابرین این اشعه با عمود بالای آیینهٔ $M_2$ زاویهٔ $55^\circ$ را تشکیل می‌دهد. به اســـاس قانون انعکاس اشعهٔ منعکســـهٔ دوم با عمود بالای آیینهٔ $M_2$، زاویهٔ $55^\circ$ را تشکیل می‌دهد.

## تغییرات زاویه بین آیینه‌های متلاقی

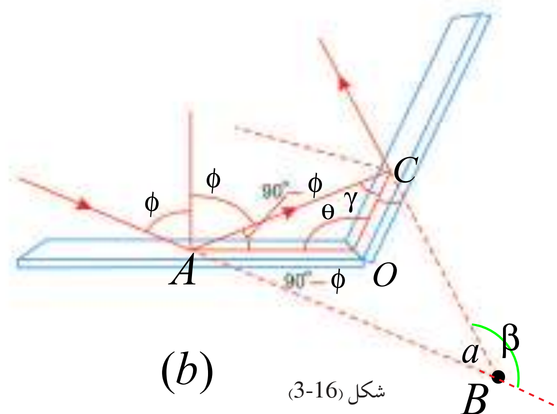
هر گاه اشـــعهٔ وارده و اشعهٔ منعکسهٔ خروجی در شـــکل (3-16)به عقب آیینه امتداد داده شود، آن‌ها یکدیگر را تحت زاویهٔ $60^\circ$ قطع می‌نمایند، زیرا که تغییر مجموعی در جهت اشعهٔ نوری $120^\circ$ می‌باشد و این برابر به زاویه بین آیینه‌ها می‌باشد. اگر زاویه بین آیینه‌ها تغییر نماید چه واقع می‌شـــود؟ آیا تغییر مجموعی در جهت اشـــعهٔ نوری همیشه برابر با زاویهٔ بین آیینه‌ها می‌باشد؟

تشکیل یک بیان عمومی‌محض به اساس یک قیمت (دیتا) همیشه قابل اعتماد نمی‌باشد. به این اساس تغییر جهت اشعهٔ نوری را برای یک حالت عمومی‌مطالعه می نماییم. شکل (3-16) یک زاویهٔ اختیاری $\theta$ را بین آیینه‌ها نشان می‌دهد. اشعهٔ وارده بالای آیینه به زاویهٔ $\phi$ که در سطح آیینه با نارمل تشکیل می‌دهد، وارد می‌شود. به اساس قانون انعکاس و مجموعه زوایای داخلی یک مثلث $(\overset{\Delta}{AOC})$ زاویهٔ $\gamma$ عبارت است از:

$$\hat{\gamma} = 180^\circ - (90^\circ - \phi) - \theta = 90^\circ + \phi - \theta$$







شکل (3-16)

در شکل (3-16) با در نظرداشت مثلث $\overset{\Delta}{ABC}$ می‌توانیم بنویسیم که:

$$\alpha + 2\gamma + 2(90^\circ - \phi) = 180^\circ$$
$$\alpha = 180^\circ - 2\gamma - 2(90^\circ - \phi)$$
$$\alpha = 180^\circ - 2\gamma - 180^\circ + 2\phi$$
$$\alpha = -2\gamma + 2\phi$$
$$\alpha = 2(\phi - \gamma)$$

تغییر جهت اشعه عبارت از زاویۀ $\beta$ می‌باشد، که قیمت آن با $180^\circ - \alpha$ مساوی است.

$$\beta = 180^\circ - \alpha = 180 - 2(\phi - \gamma) \quad \therefore \gamma = 90 + \phi - \theta$$
$$= 180^\circ - 2\left[\phi - (90^\circ + \phi - \theta)\right]$$
$$= 180 + 180 - 2\phi + 2\phi - 2\theta$$
$$\beta = 360 - 2\theta$$

گفتنی است‌که $\beta$ با $\theta$ مساوی نیست؛ ولی تنها برای $\theta = 120^\circ$، $\beta = 120^\circ$ حاصل می‌شود که مساوی به زاویه بین آیینه‌ها می‌باشد؛ طور مثال هرگاه $\theta = 90^\circ$ باشد، $\beta = 180^\circ$ حاصل می‌شـــود. در این حالت، نور واپس بالای نور وارده منعکس می‌گردد. تا حال زاویه بین اشعۀ وارده و اشعۀ منعکسه آیینۀ دوم را در آیینه‌های متلاقی مطالعه کردیم.

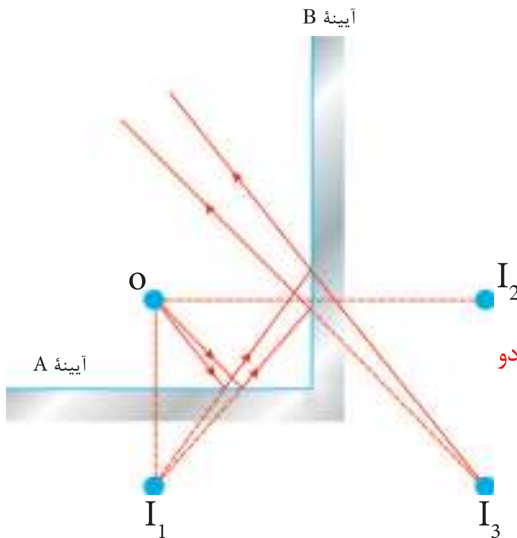
هرگاه در مقابل آیینه‌های متلاقی یک شی واقع گردد، تصاویر آن چگونه تشکیل می‌شود؟ این پرسش را نیز با یک مثال توضیح می‌دهیم.

## مثال

دو آیینهٔ مستوی را در نظر می‌گیریم که یکی بالای دیگر عمود بوده و یک شی در نقطهٔ o مقابل هر دو آیینه واقع باشد. در این حالت تعداد زیادی تصاویر تشکیل می‌گردد. محل‌های این تصاویر را تعیین می‌نماییم.

## حل

در آیینهٔ A، تصویر شی $I_1$ و در آیینهٔ B تصویر آن $I_2$ است و هم‌چنان تصویر سوم تشکیل می‌گردد. این تصویر سوم عبارت از تصویر $I_1$ در آیینهٔ B یا تصویر $I_2$ در آیینهٔ A می‌باشد،یعنی تصویر $I_1$ یا $I_2$ برای $I_3$ حیثیت شی را دارد. برای تشکیل تصویر $I_3$ اشعه دو مرتبه منعکس می‌گردد.




شکل (17-3) تصاویر یک شی را بین دو آیینه عمود بر هم نشان می دهد.

هر گاه از نقطهٔ تلاقی آیینه‌ها دایره‌یی را رسم نماییم، دیده می‌شود که شی و هر سه تصویر آن بالای محیط دایره واقع می‌شوند پس، مناسب است که بنویسیم $\frac{360}{90}=4$ این‌که بالای محیط دایره یکی آن خود جسم است. پس برای تعداد تصاویر می‌توانیم بنویسیم که $\frac{360}{90}-1=3$. در این جا 3 تعداد تصاویر و $90^\circ$ زاویه بین آیینه‌ها است؛ بنابر این به صورت عمومی اگر زاویه بین آیینه های متلاقی را به $\alpha$ و تعداد تصاویر را به n نشان دهیم، می‌توانیم بنویسیم که:

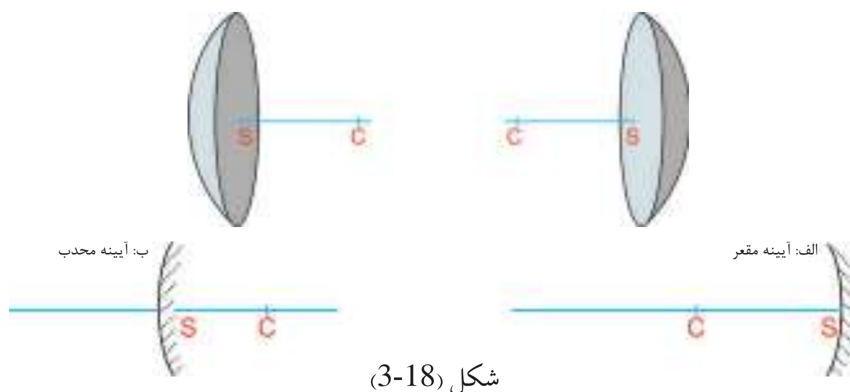
$$n=\frac{360}{\alpha}-1$$

## 3-4: **آیینه‌های کروی**

آیینه‌های مســـتوی را شـــناختید و با چگونه‌گی تشـــکیل تصویر در آن‌ها آشنا شدید. در زنده‌گی و بعضی تجارب علمی از نوع دیگر آیینه‌ها نیز استفاده می‌شود که به نام آیینه‌های کروی یاد می‌شـــوند. آیینه‌های کروی چنانکه از نام آن هویداســـت، شکل یک قسمت کره را دارند، یعنی تمام نقاط آیینه از یک نقطه که به نام مرکز آیینه یاد می‌شـــود، عین فاصله را دارند.

نظر به این‌که کدام طرف این آیینه‌ها منعکس کننده است، آیینه‌های کره‌یی به دو گروه تقسیم می‌شوند که به نام آیینۀ مقعر و آیینۀ محدب یاد می‌شود.

هر گاه سطح داخلی آیینۀ کروی منعکس کننده باشد آن‌را به نام آیینۀ مقعر و اگر سطح خارجی آن منعکس کننده باشد به نام آیینۀ محدب یاد می‌شود. این هر دو نوع آیینه‌ها در شکل (3-18)نشان داده شده است.

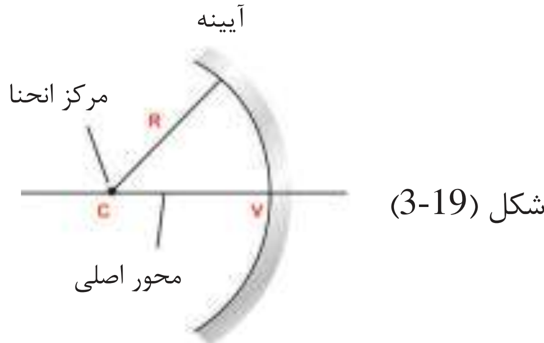



شکل (3-18)

### 3-4-1: **آیینه مقعر**

شـــکل (3-19) یک آیینۀ مقعر را نشـــان می‌دهد، در این آیینه نور توســـط سطح داخلی آیینه منعکس می‌گردد. شـــعاع انحنای آیینه R و مرکز انحنای آن C است. نقطۀ V عبارت از مرکز قســـمت کروی اســـت و خطی که از c و v عبور می‌کند به نام محور اصلی آیینه یاد می‌شود.

قانــون انعــکاس در مورد آیینه‌های کروی نیز صدق می‌نمایــد، یعنی اگر در همان نقطهٔ آیینهٔ کروی که نور وارد می‌شــود عمودی بالای ســطح رسم گردد، زوایای وارده و منعکسه مشخص می‌شود. در این جا نیز زوایای وارده و منعکسه باهم مساوی اند، شکل (19-3).




شکل (19-3)

**فعالیت**

هدف: شناخت محراق و فاصلهٔ محراقی آیینهٔ مقعر

مواد مورد ضرورت

آیینهٔ مقعر، یک ورق کاغذ

## طرزالعمل

1. آیینهٔ مقعر را در مقابل آفتاب قرار دهید.
2. ورق کاغذ را در مقابل آیینه طوری جابه جا نمایید تا کوچک‌ترین دایرهٔ روشــن به روی صفحهٔ کاغذ نمایان گردد. توجه نمایید که ورقهٔ کاغذ را باید طوری قرار دهید تا مانع رسیدن اشــعهٔ آفتاب به آیینه نگردد. ورقهٔ کاغذ را طوری حفظ نمایید که دایرهٔ روشن روی صفحهٔ کاغذ کوچک‌ترین اندازه و روشن‌ترین حالت را دارا باشد.

محل تشکیل دایرهٔ روشن به نام محراق اصلی آیینه یاد می‌شود.

فاصلــه از محراق الی آیینه بــه نام فاصلهٔ محراقی آیینه یاد می‌شــود. در آیینه‌های مقعر، محراق حقیقی اســت. از اندازه کردن فاصلهٔ محراقی معلوم شــده اســت که این فاصله نصف فاصله از مرکز انحنا الی آیینه می‌باشد، یعنی فاصلهٔ محراقی نصف شعاع آیینه است. اگر فاصلهٔ





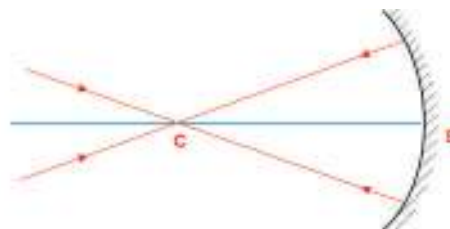
محراقی f و شعاع آیینه R باشد پس داریم که: $f = \frac{R}{2}$

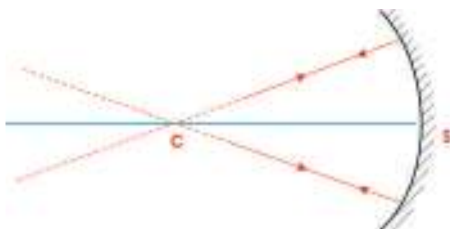
تا این جا دانستیم که در آیینه‌های کروی، قانون انعکاس صدق می‌نماید؛ هم‌چنان محور اصلی، شعاع انحنا، مرکز انحنا، محراق و فاصلهٔ محراقی آیینهٔ مقعر را شناختیم. حال در یک آیینهٔ مقعر اشعهٔ وارده و منعکسه را رسم می‌نماییم.

**الــف)** اشــعه‌یی که از مرکز آیینهٔ مقعر عبور کرده و بــالای آیینه وارد گردد و یا طوری بالای آیینه وارد گردد که امتداد آن از مرکز آیینه عبور نماید، بالای مسیر اولی خود منعکس می‌گردد.

زیرا این اشــعه بالای آیینه عمود می‌باشــد، یعنی $\hat{i} = \hat{r} = 0$ (هر خطی که از مرکز کره عبور می‌نماید بالای کره عمود می‌باشــد). در اشــکال (3-20 الف،ب) این نوع شــعاع‌ها در آیینهٔ مقعر نشان داده شده است.

(نقطهٔ c مرکز انحنای آیینه است).



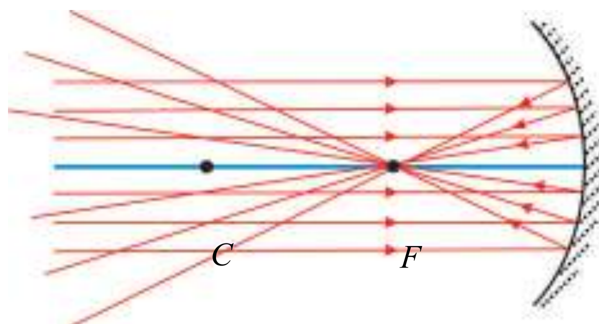

شکل (3-20)

الف) اشــعه‌یی که از مرکز عبــور کرده و بالای آیینــه وارد گردد بــالای مســیر اولی خودش منعکس می‌شود.

ب) اشــعه‌یی که در امتداد مرکــز بالای آیینهٔ مقعــر بتابد بالای مســیر اولی خــود منعکس می‌گردد

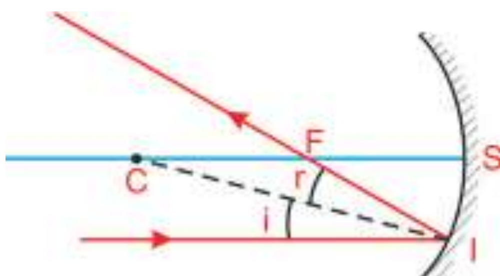
**ب)** در فعالیت قبلی دیدیم که چون شــعاع آفتاب از فاصلهٔ بســیار دور بالای آیینهٔ مقعر می‌تابیــد، تمام اشــعه آن موازی با محــور اصلی بوده و بعد از انعــکاس در یک نقطهٔ متمرکز می شــوند. نتیجه می‌شــود که: هر گاه شعاع‌های نوری موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ مقعر بتابد، شــعاع منعکســهٔ آن از یک نقطهٔ بالای محور اصلی که به نام محراق یاد می‌شــود عبور می‌نمایند.

شکل (3-21) اشعهٔ وارده و منعکسه را در یک آیینهٔ مقعر نشان می‌دهد.




شکل (3-21) شعاعی که موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ مقعر می‌تابد بعد از انعکاس از محراق اصلی عبور می‌نماید

در شکل (3-22) یک اشعهٔ موازی با محور اصلی و اشعهٔ منعکسهٔ آن نشان داده شده است. چنانکه ذکر گردید در این آیینه نیز قانون انعکاس صدق می‌نماید. یعنی هر گاه بالای سطح آیینه در نقطهٔ I نور وارد شده و خط عمود (IC) رسم گردد، دیده می‌شود که زاویهٔ وارده و زاویهٔ منعکسه با یکدیگر مساوی اند.

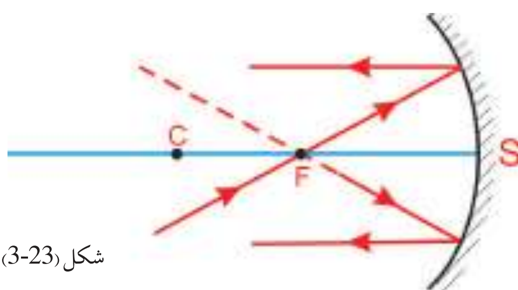



شکل (3-22) شعاعی که موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ مقعر می‌تابد بعد از انعکاس از محراق آیینه عبور می‌نماید

**ج)** شکل (3-23) نشان می‌دهد که هر گاه اشعهٔ وارده از محراق عبور کرده و بالای آیینهٔ مقعر بتابد و یا طوری وارد گردد که امتداد آن از محراق عبور نماید، اشعهٔ منعکسهٔ آن موازی با محور اصلی پخش می‌گردد.

قبل از این‌که به اساس معلومات فوق تصویر یک شی را در آیینهٔ مقعر توسط ترسیم دریافت نماییم، بعد از انجام فعالیت به پرسش‌های ذیل پاسخ دهید.

آیا تصویر خود را در قاشق نکلی دیده اید؟ چگونه تصویر خواهد بود؟




شکل (3-23)

### فعالیت

مواد مورد ضرورت

هدف: دیدن تصویر یک شمع روشن در آیینهٔ مقعر

آیینهٔ مقعر با پایه، شمع، گوگرد، یک ورق کاغذ

**طرزالعمل:** فعالیت باید در اتاق نسبتاً تاریک انجام شود.

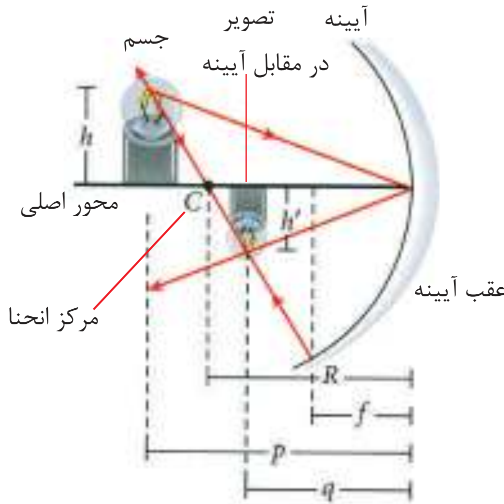
1. آیینه را بالای پایه نصب نمایید.
2. محل محراق اصلی آیینه را توسط جابه‌جا کردن موقعیت شمع تعیین و فاصلهٔ آن را الی آیینه اندازه نمایید.
3. شمع را مانند شکل در فاصلهٔ بین محراق اصلی و مرکز آیینه در مقابل آیینه قرار دهید. ورق کاغذ را طوری جابه‌جا نمایید تا بالای کاغذ، تصویر روشن و واضح شمع دیده شود. متوجه باشید که ورق کاغذ مانع رسیدن نور از آیینه نگردد.
4. شمع روشن را در فاصله بین محراق و مرکز آیینه در محل‌های مختلف قرار دهید و در هر محل تصویر آن‌را به روی صفحهٔ کاغذ مشاهده نمایید و نتیجه مشاهدات تان را با یکدیگر شریک سازید.




شکل (3-24)

## تصویر در آیینه کروی مقعر

ابتدا در آیینهٔ مقعر تشکیل تصویر یک شمع روشن را به وسیلهٔ ترسیم مطالعه می‌نماییم. شکل زیر را می‌بینیم:




شکل (3-25)
دریافت تصویر یک شمع روشن توسط ترسیم در آیینهٔ مقعر

همانگونه که در شکل بالا نشان داده شده است، شمع روشن خارج از مرکز انحنای آیینهٔ مقعر گذاشته شده است. قاعدهٔ شمع در محور اصلی آیینه واقع شده است.

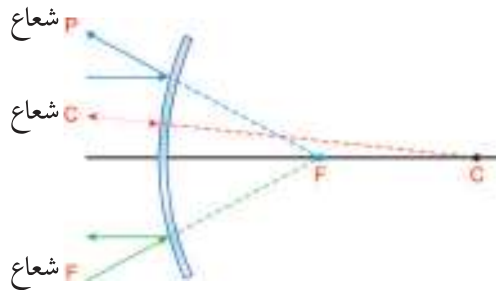
برای تشکیل تصویر شمع، دو شعاع نوری از نوک شمع را در نظر می گیریم. یکی از شعاع ها از مرکز انحنای آیینه عبور نموده و بعد از برخورد به سطح آیینه به روی خودش بر می گردد.

شعاع دومی با یک زاویهٔ معین به رأس آیینه تابیده و به اساس قانون انعکاس در جهت متناظر بر می گردد. این دو شعاع همدیگر را در یک نقطه قطع نموده و تصویر نوک شمع را تشکیل می دهد. تصویر تشکیل شده نظر به اصل شی کوچکتر و سرچپه بوده و بین محراق و مرکز انحنای آیینه قرار دارد.

### 3-4-2: آیینهٔ کروی محدب

آیینهٔ کروی محدب عبارت از یک قسمت کره‌یی است که سطح داخلی آن جیوه شده و سطح خارجی محدب آن منعکس کننده باشد. این نوع آیینه را آیینهٔ متباعد نیز می‌گویند؛ زیرا شــعاع‌های وارده، بعد از انعکاس از یکدیگر فاصله می‌گیرند و چنین معلوم می‌شــود که گویا در عقب آیینه از یک نقطه منشأ گرفته باشند.

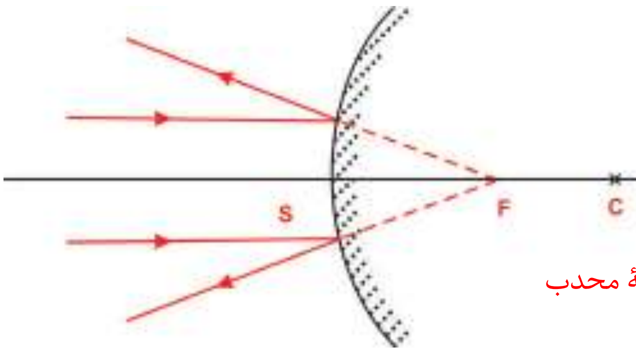
بنابر این، تصویر حاصل شــده همیشه مجازی و فاصلهٔ تصویر با علامت منفی نشان داده می شــود، زیرا سطح انعکاس دهندهٔ آیینه در جهت مخالف شعاع انحنا قرار دارد؛ هم چنین فاصلهٔ محراقی آیینهٔ کروی محدب نیز منفی است. نقطهٔ محراقی و مرکز انحنا در عقب سطح آیینه قرار دارد، شکل (3-26).




شکل (3-26) آیینه کروی محدب

## محراق آیینهٔ محدب

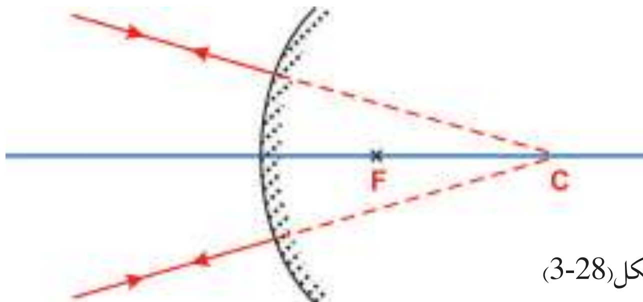
هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ محدب بتابد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد شـــعاع منعکســـهٔ آن در عقب آیینه از یک نقطه بالای محور اصلی عبور می‌نماید. این نقطه را به نام محراق آیینهٔ محدب یاد می‌کنند. محراق آیینهٔ محدب مجازی است. فاصله از محراق آیینه الی آیینه را فاصلهٔ محراقی می‌گویند. در آیینه‌های محدب نیز فاصلهٔ محراقی، نصف شـــعاع، یعنی ($f = \frac{R}{2}$) می‌باشد. شکل ذیل (27-3) شعاع واردهٔ موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ محدب و چگونه‌گی انعکاس آن را نشان می‌دهد.




شکل(27-3) محراق آیینهٔ محدب

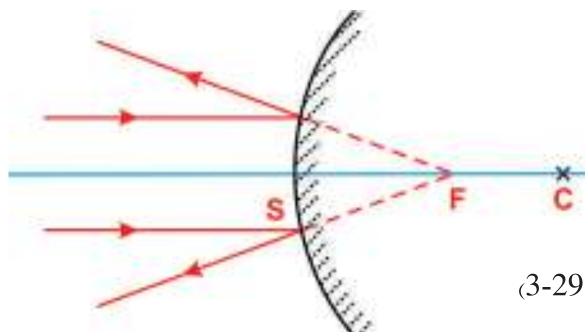
## ترسیم اشعهٔ منعکسه در آیینهٔ محدب

**الف)** شعاعی که بالای آیینهٔ محدب طوری بتابد که امتداد آن در عقب آیینه از مرکز آیینه عبور نماید، بالای مسیر خود اشعه منعکس می‌گردد. در شکل (28-3) شعاع‌هایی نشان داده شده است که در امتداد مرکز آیینه بالای آیینه می‌تابند.



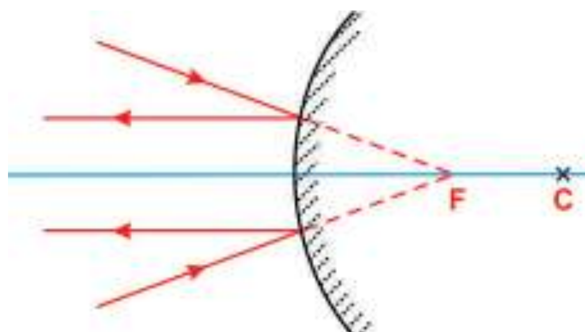

شکل(28-3)

**ب)** اشــعهٔ که موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ محدب بتابد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد اشعهٔ منعکسهٔ آن از محراق مجازی آیینهٔ محدب (در عقب آیینه) عبور می‌نماید.




شکل(3-29)

**ج)** هر گاه امتداد شــعاع‌های وارده از محراق عبور نماید، شعاع‌های منعکسهٔ آن‌ها موازی با محور اصلی می‌باشد. این نوع شعاع‌ها در شکل (3-30) نشان داده شده اند.




شکل (3-30)

### 3-4-3: **تشکیل تصویر در آیینه‌های کروی**

توسط ترسیم شعاع‌ها می‌توانیم محل و اندازهٔ تصاویر را طور مناسب دریافت نماییم. این ترسـیمات گرافیکی، خواص تصویر را نشـان می‌دهد. برای ترسیم لازم است که محل شی (موقعیت)، محراق آیینه و مرکز انحنا را بشناسـیم. بعد برای دریافت محل تصویر سه اشعهٔ اساسی را از شی رسم می‌نماییم، چنانکه در مثال‌های شکل (3-31) نشان داده شده است.




شکل (3-31) ترسیم تصویر در آیینه‌های کروی

الف) هر گاه شی خارج از مرکز انحنای آیینه مقعر واقع باشد، تصویر حقیقی، معکوس و کوچکتر از اصل شی می‌باشد.

ب) هر گاه شـی بین محراق و سـطح آیینهٔ مقعر واقع باشـد، تصویر مجازی، راسته و بزرگتر از اصل شی می‌باشد.

ج) هر گاه شی در پیش روی آیینهٔ محدب واقع باشد، تصویر مجازی، راسته و کوچکتر از اصل شی می‌باشد.

ایـن شـعاع‌ها را به طـور نمونه از عین نقطهٔ شـی در نظر گرفته و ترسـیم می نماییم. می‌توانیم بالای شـی هر نقطهٔ دلخـواه را انتخاب نماییم. در این جا برای آسـانی کار نوک جسم را انتخاب کرده ایم. برای آیینهٔ مقعر اشکال (الف 3-31 / ب 3-31) را مشاهده نمایید، شعاع‌های اساسی ذیل را رسم می‌نماییم:

اشعهٔ اول را از نوک جسم موازی با محور اصلی رسم می‌نماییم که منعکسهٔ آن از محراق (F) عبور می‌کند.

اشـعهٔ دوم از نوک جسـم رسـم شـده، از محراق عبور می‌نماید و موازی با محور اصلی منعکس می‌گردد.

اشـــعهٔ ســـوم از نوک جسم رســـم، از مرکز انحنا( C )گذشـــته و بالای خود اشعه منعکس می‌شود.

از جملهٔ این شعاع‌ها تقاطع دو اشعه، محل تصویر را تعیین می‌نماید و اشعهٔ سوم برای ملاحظهٔ این ترســـیم به‌کار برده می‌شود. فاصله‌یی که برای تصویر از آیینه به این ترتیب حاصل می‌شود، مساوی با قیمتی است که توسط محاسبه به دست می‌آید.

هر گاه شی به آیینهٔ مقعر خیلی نزدیک شود چه واقع می‌شود؟ زمانی‌که در شکل (الف28-3) شی به محراق نزدیک شود تصویر حقیقی، معکوس و به طرف چپ حرکت می‌کند.

وقتی‌که شی در محراق واقع شود، تصویر به طرف لایتناهی می‌رود. زمانی‌که شی بین محراق و سطح آیینه واقع گردد، چنانکه در شکل (ب29-3) نشان داده شده است، تصویر مجازی، راسته و بزرگ می‌باشـــد؛ طور مثال هر گاه روی شما به آیینه نسبت به محراق نزدیک واقع شود، شما تصویر روی خود را راسته و بزرگ خواهید دید.

برای تشکیل تصویر در آیینه‌های محدب سه شعاع اساسی ذیل را درنظر می‌گیریم:

اشعهٔ اول را از نوک جسم موازی به محور اصلی رسم کرده و از آیینه طوری منعکس می‌گردد که امتداد آن از محراق F عبور می‌کند.

اشعهٔ دوم را از نوک جسم به عقب آیینه به طرف محراق طوری رسم می‌نماییم که با محور اصلی موازی منعکس می‌گردد.

اشـــعهٔ سوم را از نوک جسم به عقب آیینه به طرف مرکز آیینه طوری رسم می‌نماییم که به مسیر اشعه واپس منعکس می‌گردد.

در آیینهٔ محدب تصویر یک شی همیشه مجازی، راسته و نسبت به اصل شی کوچکتر می‌باشد چنانکه در شـــکل (ج31-3) نشـــان داده شده اســـت. در این حالت زمانی‌که فاصلهٔ شی به آیینه نزدیک می‌شود تصویر مجازی بزرگ شده و از محراق به طرف آیینه می‌رود.

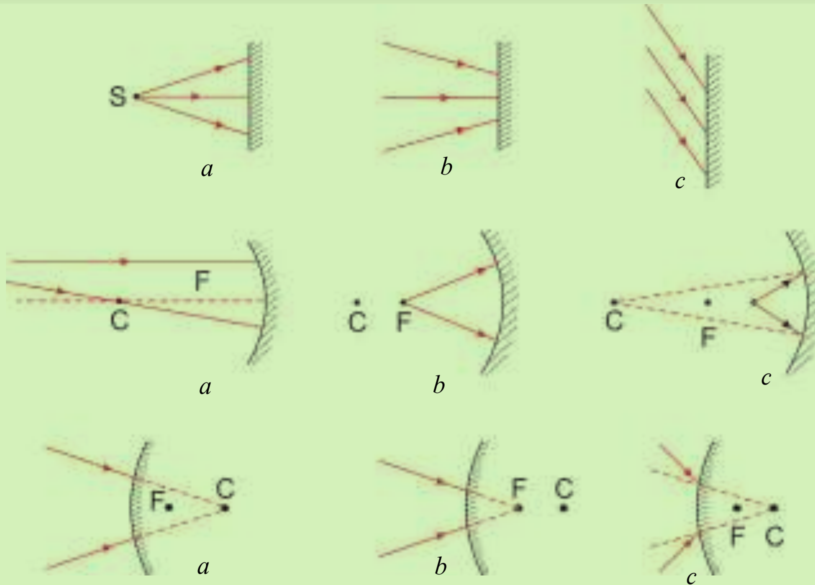
**فعالیت**

شـــما دیاگرام‌های دیگری را ترســـیم نمایید و نشـــان دهید که در آیینه‌های محدب موقعیت تصویر نسبت به موقعیت شی چگونه تغییر می‌نماید؟

هم‌چنان نشـــان دهید که در آیینه‌های مقعر موقعیت تصویر نســـبت به موقعیت شی چگونه تغییر می‌نماید؟

## فعالیت

الف) مطابق شکل (32-3) ذیل اشعهٔ نوری بالای آیینه‌ها می‌تابد. با استفاده از قانون انعکاس نور در هر یک از اشکال ذیل مسیر اشعهٔ منعکسه را رسم نمایید.




شکل (32-2)

ب) با استفاده از نتایج قسمت الف فوق جدول ذیل را تکمیل نمایید.

| نوع آیینه | | شعاع منکسه | | |
|---|---|---|---|---|
| | | متقارب | متباعد | موازی |
| آیینه‌های مستوی | a | | | |
| | b | | | |
| | c | | | |
| آیینه‌های مقعر | a | | | |
| | b | | | |
| | c | | | |
| آیینه‌های محدب | a | | | |
| | b | | | |
| | c | | | |

## 3-5: معادلات آیینه‌ها

در آیینه های کروی فاصلهٔ شـــی، فاصلهٔ تصویر از آیینه و شـــعاع انحنای آیینه با یکدیگر رابطه دارند هرگاه فاصلهٔ شی از آیینه و شعاع انحنای آیینه را بشناسیم، می‌توانیم پیشگویی نماییم که تصویر در کجا تشکیل می‌شود؛ هم‌چنان می‌توانیم با شناخت فاصلهٔ شی و فاصلهٔ تصویر از آیینه، شـــعاع انحنای آیینه را دریافت نماییم. معادلهٔ ذیل که رابطه بین فاصلهٔ شی (P)، فاصلهٔ تصویر (q) و شعاع انحنا (R) را نشان می‌دهد، به نام معادلهٔ آیینه یاد می‌شود.

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{2}{R}=\frac{2}{2f}$$

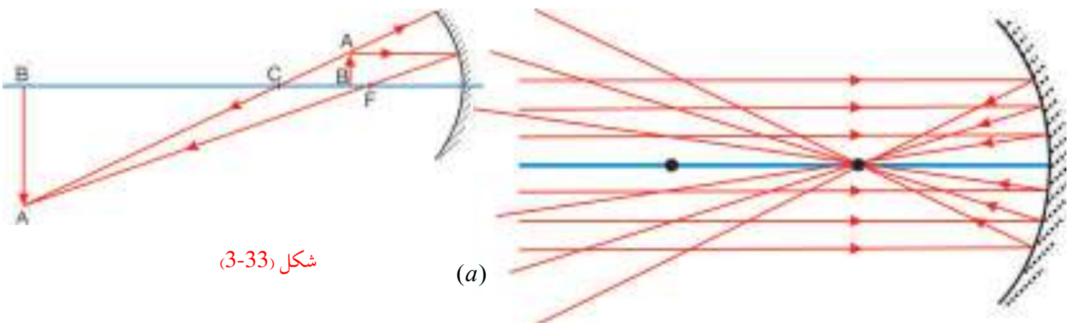
اگر فاصلهٔ موقعیت یک شی از آیینه خیلی زیاد باشد، پس فاصلهٔ شی P به مقایسهٔ R خیلی بزرگ بوده و $\frac{1}{P}$ تقریباً صفر می‌شود. در این حالت q تقریباً مساوی به $\frac{R}{2}$ گردیده؛ بنابرین تصویر در فاصلهٔ نصف بین مرکز انحنا و سطح آیینه (بالای محراق) تشکیل می‌شود. قسمتی که در اشکال (a و 3-33b) نشـــان داده شـــده است که تصویر، شکل کوچک (تقریباً نقطه‌یی) را داشته و این محل به نام محراق یاد می‌شود که توسط حرف F نشان داده می‌شود.

هر گاه منبع نوری در محراق واقع باشـــد، شـــعاع منعکسهٔ آن موازی با محور اصلی پخش می‌گردد و تصویر تشـــکیل نمی‌شـــود. منبع نوری که از آیینه به فاصلهٔ خیلی زیاد واقع باشد، شعاع‌های منتشرهٔ آن با یکدیگر موازی بوده و در این حالت تصویر در محراق تشکیل می‌گردد و فاصلهٔ این تصویر به نام فاصلهٔ محراقی یاد می‌شـــود که توســـط f نشان داده می‌شود. چون در آیینه‌های کروی فاصلهٔ محراقی مســـاوی به نصف شـــعاع انحنا است، پس معادله آیینه را می‌توانیم این طور بنویسیم:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{2f} \quad \text{و یا} \quad \frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

یعنی:

$$\frac{1}{\text{فاصلهٔ شی}}+\frac{1}{\text{فاصلهٔ تصویر}}=\frac{1}{\text{فاصلهٔ محراقی}}$$




شکل (3-33)

در وقت اســتفاده از معادلهٔ آیینه باید برای سه متحول علامات مناسبی به کار برده شود. برای این مقصد آن طرفی را که اشــعه نوری به آن ســمت منعکس شــده و تصاویر حقیقی تشــکیل می‌گردد به نام طرف پیش روی آیینه یاد می‌شــود. جانب دیگر آیینه که در آن‌جا شعاع نوری وجود ندارد و تصاویر مجازی تشکیل می‌شوند به نام عقب آیینه یاد می‌شود.

هر گاه یک فاصله از مرکز آیینه الی هر نقطهٔ دیگری که در پیش روی آیینه واقع باشــد اندازه گردد، فاصلهٔ شــی و تصویر علامت‌های مثبت دارند. برای تصاویری که در عقب آیینه تشکیل می‌شوند، فاصله‌ها علامت‌های منفی را دارا می‌باشند. چون سطح صیقلی آیینهٔ مقعر به طرف پیش روی آیینه واقع است؛ بنابرین فاصلهٔ محراقی آن همیشه دارای علامت مثبت می‌باشــد. هر گاه شــی و تصویر هر دو بالای محور اصلی واقع باشــند، اگر به طرف بالا باشد دارای علامت مثبت و اگر به طرف پایین باشد دارای علامت منفی می‌باشد.

**سوالات**

1. اگر منبع نوری در محراق واقع باشد شعاع منعکسهٔ آن از آیینه چگونه انتشار می‌یابد؟
2. در وقــت اســتفاده از معادلهٔ آیینه، کدام فواصل مثبــت و کدام فواصل منفی درنظر گرفته می‌شوند؟
3. فاصلهٔ محراقی با شعاع انحنای آیینه چگونه رابطه دارد؟
4. هر گاه شی و تصویر به طرف بالای محور اصلی یا طرف پایین آن واقع باشند، دارای کدام علایم خواهند بود؟

## 3-5-1: ثبوت هندسی معادلهٔ آیینه

پیشـــتر گفته شد که بین فاصلهٔ شی، فاصلهٔ تصویر و شعاع انحنا رابطه‌یی وجود دارد که به نام معادلهٔ آیینه یاد می‌شود، یعنی:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{R}\text{..........}(1)$$

این رابطه را می‌توانیم با استفاده از طریقهٔ ترسیم هندسی برای پیداکردن تصویر یک شی در آیینـــهٔ کروی مقعر ثبوت نماییم. برای این مقصد شـــکل را در نظر می‌گیریم و مطابق به قرار داد فاصلهٔ شی از نقطهٔ $V$ آیینه را $P$ و فاصلهٔ تصویر را $q$ و هم‌چنان شعاع انحنای آیینه را توســـط $R$ نشان می‌دهیم. شکل (3-34) دو شعاع را نشان می‌دهد که از نوک شی پخش می‌گردد. یک شـــعاع از مرکـــز انحنای آیینه $(C)$ عبور کرده، بالای ســـطح آیینه طور عمود می‌تابد و واپس بالای خود شـــعاع منعکس می‌گردد. اشـــعهٔ دوم بالای مرکز آیینه (نقطهٔ $V$) می‌تابد و مطابق به قانون انعکاس چنانکه در شـــکل نشـــان داده شده است منعکس می‌شود. تصویر این نقطه در محلی تشـــکیل می‌گردد که این شـــعاع‌ها یکدیگر را قطع می‌نمایند. در شکل (3-34) با استفاده از مثلث $\overset{\Delta}{ABV}$ می‌توانیم بنویسیم که $tg\theta=\frac{h}{p}=\frac{AB}{Bv}$ و از مثلث $\overset{\Delta}{ABV}$ می‌توانیم بنویسیم که $tg\theta'=\frac{A'B'}{IV}=-\frac{h'}{q}$ علامت منفی به خاطری است که تصویر معکوس می‌باشـــد؛ بنابرین $h'$ نیز منفی می‌باشد؛ چون $\theta=\theta'$ است پس یک طرف این دو رابطه باهم مساوی می‌شوند و می‌توانیم بنویسیم که: $\frac{h}{p}=-\frac{h'}{q}$

ویا

$$\frac{h'}{h}=-\frac{q}{p}\text{............}(2)$$

و هم در شـــکل (3-34) برای دو مثلثی که دارای زاویه‌های متشابه می‌باشند، می‌توانیم بنویسیم که:

$$tg\alpha=\frac{h}{P-R}$$

و:

$$tg\alpha=-\frac{h'}{R-q}$$





از روابط فوق می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{R-q}{P-R} \text{.............(3}$$

از مقایسهٔ معادلات 2 و 3 داریم که:

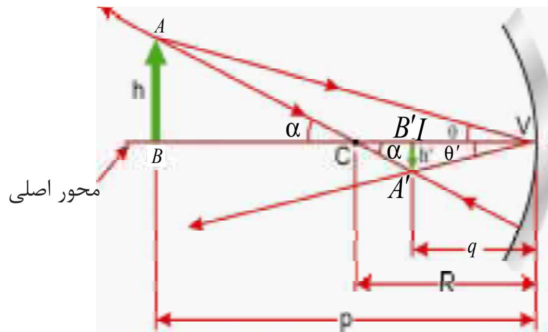
$$\frac{q}{p} = \frac{R-q}{p-R}$$

$$pR - pq = qp - qR \Rightarrow pR + qR = 2pq$$

اطراف را به $pqR$ تقسیم نموده داریم:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \text{................(4}$$

قسمی که پیشتر نیز ذکر گردید، این افاده به نام معادلهٔ آیینه یاد می‌شود.




شکل(3-34)

تصویر تشکیل شده توسط آیینهٔ کروی مقعر درحالی‌که شی (AB) خارج از مرکز انحنا واقع است.

به اساس معلومات قبلی که فاصلهٔ محراقی به اندازهٔ نصف شعاع انحنا است، پس معادلهٔ (4) را می‌توانیم طور ذیل بنویسیم:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \text{................(5}$$

برای مقایسهٔ محدبیت و مقعریت یک آیینه با آیینهٔ دیگر از فاصلهٔ محراقی (f) استفاده می‌شود.

فاصلهٔ محراقی، تابع مواد تشکیل دهندهٔ آیینه می‌باشد؛ زیرا تصویر در نتیجهٔ شعاع منعکسه از سطح آیینه تشکیل می‌شود و هم‌چنان از رابطهٔ $f = \frac{R}{2}$ واضح می‌گردد که فاصلهٔ محراقی تنها تابع شعاع انحنا می‌باشد، نه ماده‌یی که آیینه را تشکیل می‌دهد.

## 3-5-2: تطبیقات

### الف) محاسبهٔ فاصلهٔ تصویر در آیینهٔ مقعر

آیا در آیینهٔ مقعر فاصلهٔ تصویر مربوط به فاصلهٔ جسم می‌باشد؟

در آیینهٔ مقعر تصویر حقیقی می‌باشد یا مجازی؟

چگونه می‌توانیم بدانیم که تصویر حقیقی است یا مجازی؟

چنانکه پیشتر در ترسیم تصویر یک شی در آیینهٔ مقعر دیدیم که در آیینهٔ مقعر، فاصلهٔ تصویر از آیینه تابع فاصلهٔ شی از آیینه است. در بعضی حالات فاصلهٔ تصویر از آیینه نسبت به فاصلهٔ شی از آیینه زیاد تر و در بعضی حالات کوچکتر می‌باشد. تصویر بیشتر در آیینه مقعر حقیقی بوده و در یک حالت مجازی می‌باشد.

هر گاه فاصلهٔ شی از آیینه (p) و فاصلهٔ محراقی (f) معلوم و فاصلهٔ از آیینه (q) معلوم نباشد، در معادلهٔ $\frac{1}{f} = \frac{1}{q} + \frac{1}{p}$ عوض p و f قیمت‌های شان را وضع کرده و قیمت q را محاسبه می‌نماییم. بعد از محاسبه اگر قیمت حاصل شده برای q عدد مثبت باشد، تصویر حقیقی است و اگر قیمت حاصل شده منفی باشد تصویر مجازی است. هر گاه فاصلهٔ تصویر از آیینه معلوم و تصویر مجازی باشد، در این حالت این فاصله را با علامت منفی عوض q می‌نویسیم.

به خاطر صحت معادلهٔ آیینه، فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم:

**فعالیت**

**مواد مورد ضرروت**

آیینهٔ مقعر با پایه، شمع، گوگرد، یک ورق کاغذ

**طرزالعمل**

محراق آیینهٔ مقعر را دریافت و فاصلهٔ آن‌را الی آیینه اندازه نمایید. بعد با اندازه کردن فاصلهٔ جسم و فاصلهٔ تصویر از آیینه، صحت معادلهٔ آیینه را بررسی نمایید و نتیجهٔ آن‌را با هم صنفان خود شریک سازید.

**مثال**

یک شی از آیینهٔ مقعر به فاصلهٔ 20 سانتی متر واقع است. اگر شعاع آیینه 30 سانتی متر باشد، فاصلهٔ تصویر را از آیینه و چگونه‌گی تصویر را تعیین نمایید.

**حل**: $f = \frac{R}{2} = \frac{30}{2} = 15cm \quad , \quad p = 20cm$

به اساس معادلهٔ آیینه:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{20cm} + \frac{1}{q} = \frac{1}{15cm}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{15cm} - \frac{1}{20cm} = \frac{4-3}{60cm}$$

فاصلهٔ تصویر از آیینه:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{60cm} \Rightarrow q = 60cm$$

چون q مثبت است؛ بنابر این تصویر حقیقی می‌باشد.

**مثال**

یک شـــی از آیینهٔ مقعری به فاصلهٔ 12 ســـانتی متر واقع است. فاصلهٔ محراقی آیینه 24 سانتی متر است. فاصلهٔ تصویر از آیینه، نوع تصویر و فاصلهٔ شی را از تصویر دریافت نمایید.

**حل**: $P = 12cm \quad , \quad f = 24cm \quad , \quad q = ?$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{12cm} + \frac{1}{q} = \frac{1}{24cm}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{24cm} - \frac{1}{12cm} = \frac{4-3}{24cm}$$

فاصلهٔ تصویر از آیینه:

$$q = -24cm$$

چون q منفی است؛ پس تصویر مجازی می‌باشد.

فاصلهٔ تصویر از جسم $= P + q = 12 + 24$

$= 36cm$





**مثال**

یک شی را از آیینه به فاصلهٔ 9 سانتی متر قرار می‌دهیم. آیینه از این شی تصویر مجازی تشکیل می‌دهد که به فاصلهٔ 12 سانتی متر در عقب آیینه واقع می‌باشد. شعاع آیینه را محاسبه نمایید.

**حل**

چون تصویر مجازی است، باید در معادله، عوض q قیمت آن‌را با علامت منفی وضع نماییم.

$$P = 9cm \ , \ q = -12cm \ , \ R = ?$$

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} : \frac{1}{9cm}+\frac{1}{12cm}=\frac{1}{f} \Rightarrow \frac{4-3}{36cm}=\frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{36cm}=\frac{1}{f}$$

$$f = 36cm \ , \ R = 2f = 72cm$$

## ب) محاسبهٔ فاصلهٔ تصویر از آیینهٔ محدب

برای آیینهٔ محدب نیز معادلهٔ $\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ صدق می‌نماید؛ مگر از این‌که در آیینهٔ محدب محراق مجازی است؛ بنابراین در وقت محاسبه برای فاصلهٔ محراقی علامت منفی می‌نویسیم. اگر فاصلهٔ تصویر از آیینه معلوم نباشد، در معادلهٔ فوق عوض p و f قیمت‌های عددی آن‌ها را می‌نویسیم و q را محاسبه می‌نماییم و اگر فاصلهٔ تصویر (q) الی آیینه معلوم باشد، چون در آیینهٔ محدب تصویر مجازی می‌باشد. این فاصله را با علامت منفی در رابطهٔ فوق وضع می کنیم.

**مثال**

یک شی از آیینهٔ محدبی به فاصلهٔ 20 سانتی متر واقع است. اگر شعاع انحنای آیینهٔ محدب 10 سانتی متر باشد فاصلهٔ تصویر از آیینه را معلوم نمایید.

**حل**

$$P = 20cm \ , \ R = 10cm \Rightarrow f = \frac{R}{2} = 5cm \ , \ q = ?$$

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{20cm}+\frac{1}{q}=\frac{1}{-5cm}$$

$$\frac{1}{q}=-\frac{1}{5cm}-\frac{1}{20cm}=\frac{-4-1}{20cm} \Rightarrow \frac{1}{q}=-\frac{5}{20cm} \Rightarrow \frac{1}{q}=-\frac{1}{4cm}$$

$$q = -4cm$$

فاصلهٔ تصویر از آیینه

علامت منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.





### 3-5-3: **بزرگ‌نمایی**

نســبت طول تصویر ( $A'B'$ ) بر طول شی ( $AB$ ) را بزرگ‌نمایی می‌گویند و آن‌را توسط حرف m نشان می‌دهند. $m = \frac{A'B'}{AB}$

بزرگ‌نمایی نشــان می‌دهد که طول تصویر نســبت به طول شــی چند برابــر بزرگتر یا کوچکتر است. برای هر دو نوع آیینه‌های کروی می‌توانیم بنویسیم که:

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p} \text{..................6}$$

یعنی نســبت طول تصویر بر طول شــی مساوی به نسبت فاصلهٔ تصویر از آیینه بر فاصلهٔ شی از آیینه است. در رابطهٔ فوق علامت‌های p و q مثبت می‌باشد.

**مثال اول**

از آیینهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی 12 ســانتی متر باشــد یک شــی به کدام فاصله واقع گردد تا تصویر حقیقی آن از آیینه به فاصلهٔ 36 سانتی متر تشکیل گردد؟ هر گاه طول شی 4 سانتی متر باشد طول تصویر را در این حالت دریافت نمایید.

**حل** $P = ?\ ,\ q = 36cm\ ,\ f = 12cm\ ,\ AB = 4cm\ ,\ A'B' = ?$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{p} + \frac{1}{36cm} = \frac{1}{12cm}$$

$$\frac{1}{p} = -\frac{1}{12cm} - \frac{1}{36cm} = \frac{3-1}{36cm} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{2}{36cm} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{18cm}$$

فاصلهٔ جسم از آیینه: $p = 18cm$

طول تصویر:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p} \Rightarrow \frac{A'B'}{4cm} = \frac{36cm}{18cm} \Rightarrow \frac{A'B'}{4cm} = \frac{2}{1} \Rightarrow A'B' = 8cm$$





## مثال دوم

یک شـــی را که دارای طول 5 ســـانتی متر است از آیینهٔ محدبی به فاصلهٔ 15 سانتی متر قرار می‌دهیم، تصویر مجازی آن از آیینه به فاصلهٔ 6 ســـانتی متر تشـــکیل می‌گردد. فاصلهٔ محراقی آیینه و طول تصویر را محاسبه نمایید.

**حل** $P = 15cm\ ,\ q = -6cm\ ,\ AB = 5cm\ ,\ f = ?\ ,\ A'B' = ?$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{15cm} - \frac{1}{6cm} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{2-5}{30cm} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = -\frac{3}{30cm} = -\frac{1}{10cm}$$

$$f = -10cm$$

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p} \Rightarrow \frac{A'B'}{5cm} = \frac{6cm}{15cm} \Rightarrow \frac{A'B'}{5cm} = \frac{2}{5} \Rightarrow A'B' = 2cm$$

تصویر سرراسته، مجازی و در عقب آیینه تشکیل می‌گردد.

## مثال سوم

یک شی در مرکز آیینهٔ مقعری قرار دارد که دارای فاصلهٔ محراقی 6 سانتی متر می‌باشد. محل تصویر، نوع تصویر و بزرگ‌نمایی آن‌را محاسبه نمایید و تصویر آن را رسم کنید.

**حل**

چون شـــی در مرکز آیینه قرار دارد، پس فاصلهٔ آن الی آیینه به اندازهٔ شـــعاع آیینه یا دو برابر فاصلهٔ محراقی است، یعنی:

$$f = 6cm\ ,\ P = 2f = 2 \times 6 = 12cm\ ,\ q = ?\ ,\ m = ?$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{12cm} + \frac{1}{q} = \frac{1}{6cm} \Rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{6cm} - \frac{1}{12cm}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{2-1}{12cm} \Rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{12cm} \Rightarrow q = 12cm$$



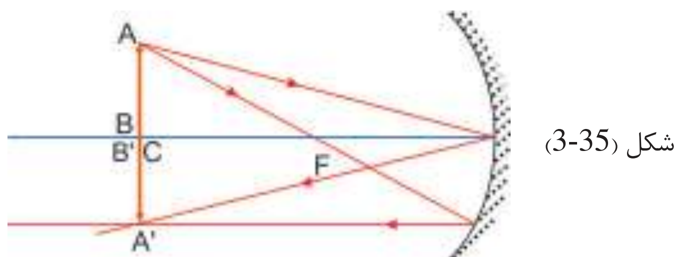


چون q مثبت است؛ بنابر این تصویر حقیقی می‌باشد.

دیده می‌شـود که $q = p$ اسـت، از این جا معلوم می‌شود که هر گاه شی در مرکز آیینه واقع گردد، تصویر آن در مرکز تشکیل می‌گردد:

$$m = \frac{q}{p} = \frac{12}{12} = 1$$

از محاسبهٔ بزرگنمایی واضح می‌شود که در این حالت طول تصویر برابر با طول شی می‌باشد.




شکل (3-35)

**مثال چهارم:** یک شی از آیینهٔ کروی به فاصلهٔ 12 سانتی متر قرار دارد. هر گاه بزرگ‌نمایی آیینـه دراین حالت $\frac{1}{3}$ و تصویر در عقب آیینه واقع باشـد. نوع تصویر، نوعیت آیینه و فاصلهٔ محراقی آن‌را دریافت نمایید.

**حل**

چون تصویر در عقب آیینه واقع اسـت؛ پس تصویر مجازی می‌باشـد. بزرگ‌نمایی از یک کوچکتر است، یعنی طول تصویر مجازی نسبت به طول شی کوچکتر می‌باشد، نتیجه می‌شود که آیینهٔ محدب است (در آیینه مقعر طول تصویر مجازی نسبت به طول شی زیاد می‌باشد).

$$p = 12cm,\ m = \frac{1}{3},\ q = ?,\ f = ?$$

$$m = \frac{q}{p} \Rightarrow \frac{1}{3} = \frac{q}{12cm} \Rightarrow 3q = 12cm \Rightarrow q = 4cm$$

چون تصویر مجازی است، پس باید در معادله، $q = -4cm$ وضع گردد.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{12cm} - \frac{1}{4cm} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1-3}{12cm} = -\frac{2}{12cm}$$

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{6} \Rightarrow f = -6cm$$

علامت منفی برای f نیز نشان می‌دهد که آیینه محدب است.

## خلاصهٔ فصل

• مسیر نوری که از یک درز عبور می‌نماید، به‌روی زمین یک بستهٔ نوری را نشان می‌دهد. بستهٔ نوری که دارای مقطع عرضی خیلی کوچک باشد به نام اشعهٔ نوری یاد می‌شـــود. در حقیقت گفته می‌توانیم که مجموعه اشـــعهٔ نوری بستهٔ نوری را تشکیل می‌دهد.

• در نتیجهٔ تابیدن نور بالای یک مادهٔ مکدر، یک قسمت نور توسط ماده جذب و قسمت باقیماندهٔ آن واپس برگردانیده می‌شود.

### قوانین انعکاس

1 - نور وارده، نور منعکســـه و خط عمود بالای همان نقطهٔ آیینه که نور بالای آن وارد می‌گردد، در یک مستوی واقع اند.

2 - زاویهٔ وارده و زاویهٔ منعکسه با یکدیگر مساوی می‌باشد.

• آیینهٔ مستوی، ســـاده ترین آیینه‌یی است که همیشه تصویر مجازی را تشکیل می‌دهد.

• تعداد تصاویر در آیینه‌های متلاقی توسط فورمول ذیل حاصل می‌گردد.

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1$$

در این جا n، تعداد تصاویر، $\alpha$ زاویه بین آیینه‌ها است.

• آیینه‌های کروی شـــکل یک قســـمت کره را دارا است، یعنی تمام نقاط آیینه از یک نقطه‌یی که به نام مرکز آیینه یاد می‌شود عین فاصله را دارند.

• هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ مقعر وارد گردد، طوری منعکس می‌گـــردد که در پیش روی آیینه بالای محـــور اصلی از یک نقطه عبور می‌نماید. این نقطه را به نام محراق اصلی آیینهٔ مقعر یاد می‌کنند.

• هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ محدب وارد گردد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد شعاع منعکسه در عقب آیینه بالای محور اصلی از یک نقطه عبور می‌نماید. ایـــن نقطه را به نام محراق آیینهٔ محدب یاد می‌کنند، محراق آیینهٔ محدب





مجازی می‌باشد.

معادلهٔ آیینه عبارت است از:

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

در این جا

p فاصلهٔ شی از آیینه،q فاصلهٔ تصویر از آیینه و f فاصلهٔ محراقی آیینه می‌باشند.

نسـبت طول تصویر ($A'B'$) بر طول شـی ($AB$) را بزرگ‌نمایی می‌گویند و آن‌را توسط حرف m نشان می‌دهند.

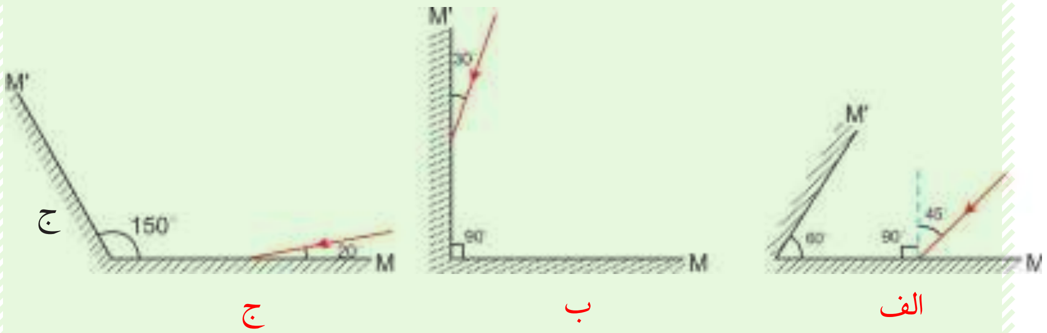
$$m=\frac{A'B'}{AB} \quad \text{یا:} \quad m=\frac{q}{p}$$



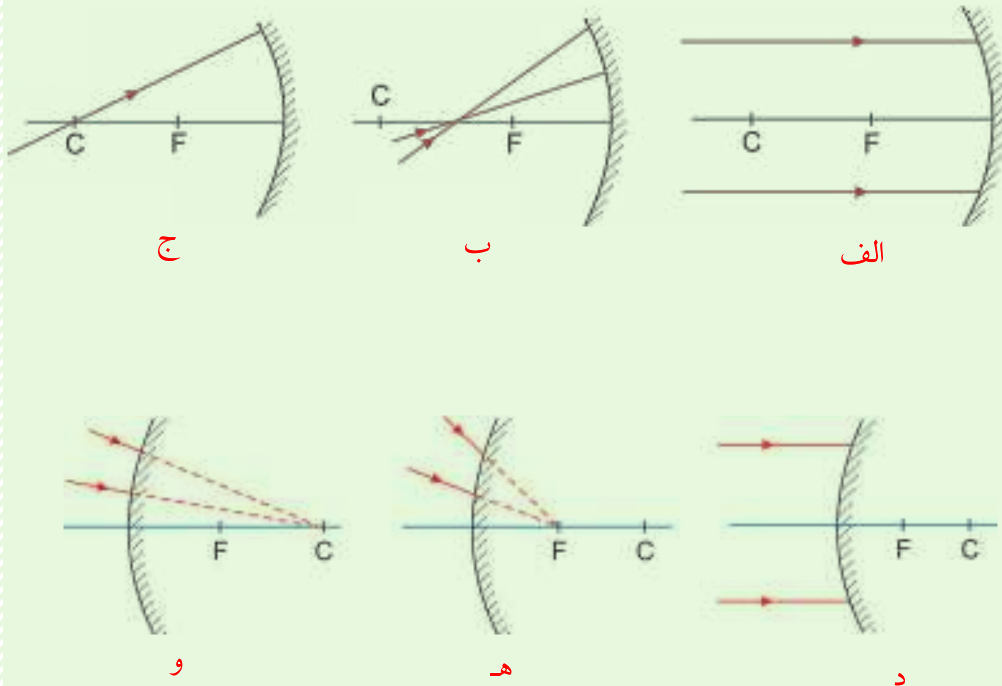


## سؤالات اخیر فصل

1. در اشکال ذیل مسیر اشعهٔ نوری را در دو آیینهٔ $M$ و $M'$ تکمیل نمایید.




2. در اشکال ذیل مسیر اشعهٔ نوری را توسط رسم تکمیل نمایید.



## سؤالات تشریحی

1. شخصی در پیش روی آیینهٔ مستوی ایستاده است.

الف) هر گاه این شخص به اندازهٔ 50 سانتی متر به آیینه نزدیک شود به تصویر خود چند سانتی متر نزدیک می‌شود؟

ب) اگر این شخص به موقعیت خود باشد و آیینه به اندازهٔ 10 سانتی از آن دور گردد، تصویر آن نسبت به حالت اول چقدر تغییر می‌کند؟

2. هر گاه جسمی‌از یک آیینه به فاصله‌های 10 سانتی متر و 5 سانتی متر واقع باشد، تصویر و بزرگ‌نمایی آن‌را دریافت نمایید. تصویر حقیقی است یا مجازی؟ تصاویر راسته می‌باشد یا معکوس؟ به خاطر تأیید نتیجه، دیاگرام هر حالت را ترسیم نمایید.

3. فاصلهٔ محراقی یک آیینهٔ مقعر 33 سانتی متر است. هر گاه جسمی‌در پیش روی آیینه به فاصلهٔ 93 سانتی متر واقع باشد، موقعیت تصویر و بزرگ‌نمایی تصویر را پیدا نمایید. تصویر حقیقی است یا مجازی؟ تصویر راسته است یا معکوس؟ با ترسیم دیاگرام نشان دهید.

4. یک قلم از آیینهٔ کروی مقعری به فاصلهٔ 11 سانتی متر قرار دارد و از آیینه به فاصلهٔ 13.2 سانتی متر تصویر حقیقی را تشکیل می‌دهد. فاصلهٔ محراقی و بزرگ‌نمایی آیینه را محاسبه نمایید؟ اگر جسم از آیینه به فاصلهٔ 27 سانتی متر قرار گیرد، محل جدید تصویر را دریافت نمایید؟ بزرگ‌نمایی جدید تصویر را حساب کنید؟ تصویر جدید حقیقی است یا مجازی؟ دیاگرام (نمودار) آن‌را رسم نمایید؟

5. تصویر یک پنسل در عقب آیینهٔ محدب به فاصلهٔ 23 سانتی متر از آیینه تشکیل می‌شود و 1.7 سانتی متر طول دارد. اگر فاصلهٔ محراقی آیینه 46 سانتی متر باشد، موقعیت و طول پنسل و بزرگ‌نمایی تصویر را دریافت نمایید؟

6. آیینـــهٔ محدبـــی که دارای فاصلهٔ محراقی 0.25 متر اســـت، تصویـــر موتری را در عقب آیینه به فاصلهٔ 0.24 متر و طول 0.08 متر تشـــکیل می‌دهد. بزرگ‌نمایی تصویر، موقعیت و ارتفاع موتر را دریافت نمایید. تصویر حقیقی است یا مجازی؟

7. آیینهٔ کروی محدبی دارای شعاع انحنای 6 سانتی متر است. اگر یک شی به فاصلهٔ 10.5 سانتی متر از آیینه قرار داشته باشد، موقعیت تصویر و بزرگ‌نمایی آن‌را دریافت نمایید.

**ســؤالات ذیل را بخوانید، به هر سؤال چهار جواب داده شده است. جواب صحیح آن‌را دریافت و نشانی نمایید.**

1. یک دسته شعاع نوری به طور موازی بالای آیینهٔ مستوی می‌تابد. این دسته شعاع بعد از انعکاس:

a) تصویر حقیقی تشکیل می‌دهد. b) تصویر مجازی تشکیل می‌دهد.

c) تصویر تشکیل نمی‌دهد. d) دو تصویر حقیقی و یک تصویر مجازی تشکیل می‌دهد.

2. برای این‌که از یک آیینهٔ مقعر و یک منبع نوری شـــعاع موازی تشـــکیل بدهیم. منبع نوری به کدام فاصله در پیش روی آیینهٔ مقعر گذاشته شود؟

a) در محراق آیینه b) خارج از فاصلهٔ محراقی آیینه

c) در فاصله محراقی آیینه d) در مرکز انحنای آیینه

3. تصویر تشکیل شده توسط آیینهٔ مستوی دارای یکی از خواص ذیل نمی‌باشد:

a) حقیقی است b) مجازی است c) جسم با تصویر مشابه می‌باشد.

d) فاصلهٔ جسم و تصویر از آیینه برابر اند.





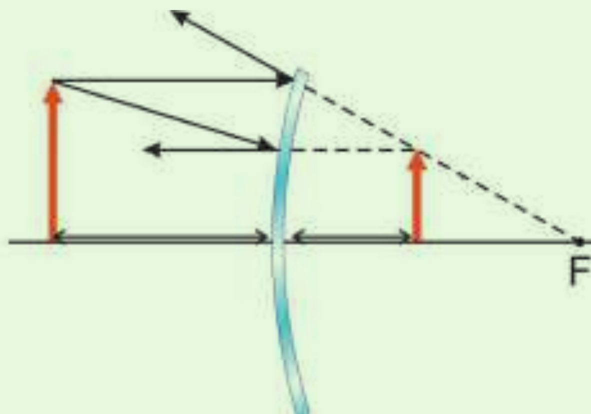
4. اگر اشـــعۀ وارده بالای آیینۀ مســـتوی با عمود بالای آیینه، زاویۀ $45^\circ$ را تشـــکیل بدهد، اشعۀ منعکسه کدام زاویه را تشکیل می‌دهد؟

a) $25^\circ$    b) $60^\circ$    c) $45^\circ$    d) $90^\circ$

5. برای دریافت فاصلۀ محراقی یک آیینۀ کروی کدام معادله صحیح است.

a) $\frac{1}{f}=\frac{1}{P}-\frac{1}{q}$    b) $\frac{1}{f}=\frac{1}{P}+\frac{1}{q}$    c) $\frac{1}{P}=\frac{1}{f}+\frac{1}{q}$    d) $\frac{1}{q}=\frac{1}{f}+\frac{1}{P}$

6. با استفاده از شکل داده شده سوال های ذیل را جواب دهید.




الف) در شکل کدام نوع آیینه نشان داده شده است؟

a) مستوی    b) محدب

c) مقعر    d) محدب و مقعر

ب) توسط آیینه کدام نوع تصویر تشکیل شده است؟

a) مجازی راسته و کوچک    b) حقیقی، معکوس و کوچک

c) مجازی، راسته و بزرگ    d) حقیقی، معکوس و بزرگ

# انکسار

در فصل گذشــــته دیدیم که نور در یک محیط شفاف به خط مستقیم منتشـــر می‌گردد؛ هم‌چنان با قوانین انعکاس نور نیز آشـــنا شدیم و و اضح گردید که انعکاس نور ســـبب رؤیت اشـــیا می‌گردد. حال پرسش به‌وجود می‌آیــد کــه هر گاه نور از یک محیط شـــفاف داخل محیط شـــفاف دیگر می‌شـــود، آیا باز هم به خط مستقیم انتشار می‌کند؟ یک تجربۀ سادۀ این کار این است که شما یک قسمت قلم پنسل را داخل گیلاس مملو از آب نمایید. اگر این کار را انجام دهید، چه خواهید دید؟

شـــما خواهید گفت، پنسل در آب شکســـته معلوم می‌شود. اگر اشعۀ نوری از هوا در یک ظرف شیشه‌یی مملو از آب به طور عمود وارد گردد آیا مسیر اشعه نوری در آب تغییر می کند؟ تغییر مسیر نور به چه نام یاد شده و تابع کدام قوانین اســـت؟ شما رنگین کمان را دیده اید. آیا سبب تشکیل آن را می دانید؟

به این پرســـش‌ها بعد از حاصل کردن معلومات در مورد انکسار جواب داده می‌توانید. در این فصل با انکســـار، قوانین انکســـار، خواص منشـــور و عدسیه ها و هم چنان ساختمان و خواص آلات اپتیکی آشنا خواهید شد.

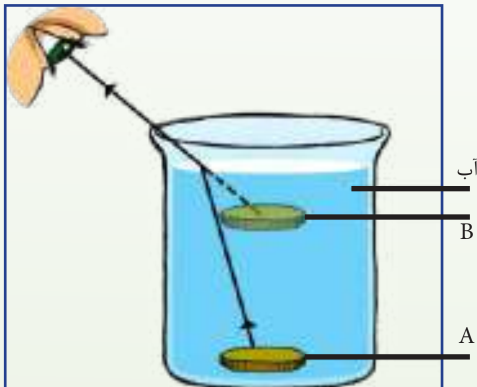


## 4-1: انکسار چیست؟

زمانی که یک قلم پنسل را داخل آب نماییم، شکسته معلوم می‌شود. چرا؟ به خاطر توضیح این موضوع فعالیتی را انجام می‌دهیم.

در بین یک ظرف خالی یک سکه را بگذارید و آن را از امتداد کنار ظرف طور مثال از نقطهٔ o بنگرید. شما سکه را نخواهید دید؛ ولی اگر اندکی سرخود را بالا نمایید سکه را دیده می‌توانید. عوض این‌که سر خود را بالاکنید از دوست خود بخواهید در ظرف به آهسته‌گی آب بریزد. دراین حالت شما می‌توانید سکه را ببینید. علت دیدن سکه این است که شعاع سکه حین عبور از آب به هوا انکسار می‌نماید و سکه عوض نقطهٔ A در نقطهٔ B دیده می‌شود. شکل (4-1)






شکل (4-1) مشاهدهٔ سکه در آب

### فعالیت

هدف: شناخت انکسار

**مواد مورد ضرورت**

کاغذ مقوا، قیچی، تختهٔ چوبی، پرکار، پنسل، خط کش





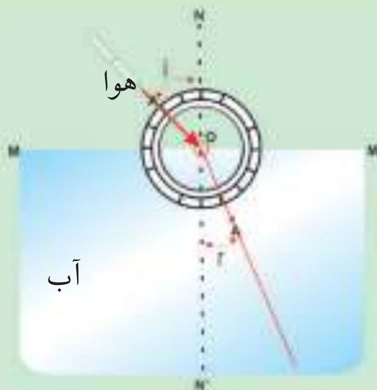
## طرزالعمل

1. در کاغذ مقوا، دایره‌یی با شعاع 5 سانتی متر رسم نمایید.
2. در دایره دو خط مســتقیم را طوری رســم نمایید که در نقطهٔ Oیکی بالای دیگر عمود باشند و به این ترتیب دایره را به چهار حصهٔ مساوی تقسیم نمایید.
3.دایره را بالای تخته چوبی نصب نمایید.
4. تخته را طوری داخل آب نمایید که نصف دایره داخل آب و نصف دیگر آن خارج ازآب باشد.
5. در یک نقطهٔ اختیاری (مثلاً A) محیط نصف دایره که داخل آب است یک سنجاق را داخل‌نمایید.
6. یک سنجاق را در مرکز دایره (O) داخل نمایید.
7. نقطه یی را در محیط نصف دایره یی که خارج از آب است انتخاب نمایید که با نقاط A و O در یک خط مستقیم دیده شود. این نقطه (A') را با سنجاق نشانی کنید.
8. تخته را از آب بیرون نمایید.
9. نقطهٔ O، A و A' را با هم وصل نمایید. دراین حالت خواهید دیدکه ســنجاق‌ها در بالای یک خط مستقیم واقع نیستند (شکل2-4).

از فعالیت نتیجه گرفته می‌شود که:

هر گاه نور ازیک محیط شــفاف (آب) به‌صورت مایل داخل محیط شفاف دیگر (هوا) گردد، مسیر آن تغییر می‌نماید.

این تغییر مسیر به نام انکسار نور یاد می‌شود (شکل3-4)




شکل (2-4)




شکل (3-4)

در فعالیت فوق اشعهٔ نوری از آب (نقطهٔ A) داخل هوا می‌گردد. اشعهٔ AO را اشعهٔ وارده و اشعهٔ $OA'$ را اشعهٔ منکسره می‌گویند.

خط عمود $NN'$ بالای سطح جدایی دو محیط شفاف را به‌نام خط نارمل یاد می‌نمایند. زاویه بین نارمل و شـعاع وارده را به‌نام زاویهٔ وارده ($\hat{i}$) و زاویه بین اشعهٔ منکسره و خط نارمل را زاویهٔ منکسـره ($\hat{r}$) می‌نامند. زاویه $\hat{D}$ مقدار انحراف اشـعهٔ منکسره را از مسیر اولی اش نشان می‌دهد.

زمانی‌که نور از یک محیط شـفاف داخل محیط شفاف دیگر می‌شود، بین زاویهٔ وارده و زاویه منکسره چگونه رابطه وجود دارد؟ نسبت ساین‌های زاویهٔ وارده و زاویهٔ منکسره به چه نام یاد می‌شود؟ برای دریافت جوابات به این پرسش‌ها فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم.

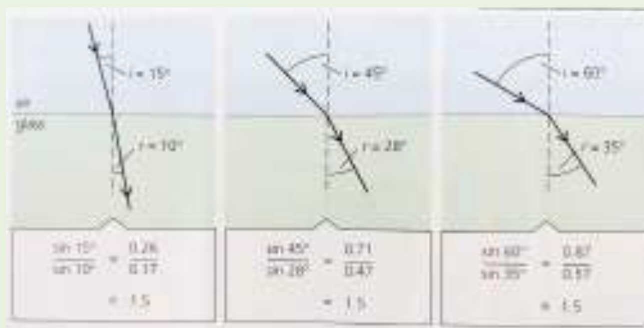
## ضریب انکسار و قانون سنل

ضریب انکسـار نقش مهمی در آلات اپتیکی (نوری) دارد. ضریب انکسـار یک محیط عبارت از نسبت سرعت نور در خلأ (c) بر سرعت نور در محیط (v) است، یعنی:

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{یا} \quad \text{ضریب انکسار مطلق محیط} = \frac{\text{سرعت نور در خلأ}}{\text{سرعت نور در محیط}}$$

زمانی‌که نور از یک محیط وارد محیط دیگر می شود سرعت آن تغییر نموده و از مسیر اولی اش انحراف می‌کند. تجربه نشان داده که تغییر در زاویهٔ وارده ($\hat{i}$) باعث تغییر زاویهٔ منکسره ($\hat{r}$) می‌گردد، یعنی با زیاد شدن زاویهٔ وارده، زاویهٔ منکسره نیز زیاد شده و با کم شدن زاویهٔ وارده، زاویهٔ منکسره کم می شود. در سال 1620 م. ساینس دان هالندی به نام سنل، رابطه بین زوایای وارده و منکسره را طور ذیل دریافت نمود.

وی در یک فعالیت، نور را از یک محیط شـفاف رقیق مانند هوا داخل محیط شـفاف غلیظ مانند شیشه نمود. زوایای وارده و منکسره را در حالات مختلف اندازه گیری نمود.



شکل (4-4)

دیده می‌شـــود که با بزرگ شـــدن زاویهٔ وارده، زاویهٔ منکســـرهٔ نیز بزرگ می‌شـــود، مگر $\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}$ درهمه حالات ثابت باقی می‌ماند. این قیمت ثابت را به‌نام ضریب انکسار محیط دوم نسبت به محیط اول یاد می‌کنند و آن‌را چنین می‌نویسند.

$$\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$$

این نسبت، ضریب انکسار نسبی بین دو محیط را نشان می‌دهد و به نام قانون سنل یاد می‌شود.

رابطهٔ فوق را می‌توانیم طور ذیل نیز بنویسیم: $n_1 \sin\hat{i} = n_2 \sin\hat{r}$

تجارب نشـــان داده است که ضریب انکسار شیشه نسبت به هوا $n_{2,1} = 1{,}5$ است. هر گاه نور از شیشه داخل هوا گردد، در این حالت: $\frac{\sin\hat{r}}{\sin\hat{i}} = \frac{1}{n_{2,1}} = n_{1,2}$ یعنی دراین صورت $\hat{i}$ زاویهٔ وارده و $\hat{r}$ زاویهٔ منکسره خواهد بود.

بـــرای ثبوت قانون ســـنل فرض می‌کنیـــم که در یک لحظه، اشـــعهٔ اولی (1) مطابق شـــکل(5-4) بالای ســـطح جدایی دو محیط در نقطهٔ (A) وارد می‌شـــود. لحظه‌یی بعد اشـــعهٔ دومی(2) بالای سطح در نقطهٔ C وارد می‌شود. در این مدت اشعهٔ وارده در نقطهٔ (A) به مسیر (D) انکسار می‌کند.

در همین مدت اشعهٔ دومی(2) از نقطهٔ (B) گذشته و به مسیر (C) حرکت می‌کند. به این اســـاس این دو شـــعاع در دو محیط مختلف حرکت نموده، فواصل مختلف را طی می‌کنند. اشعهٔ که در نقطهٔ (A) وارد گردیده، فاصلهٔ $(\overline{AD} = V_2.\Delta t)$ را طی می‌کند. در این جا $(V_2)$ سرعت اشعه در محیط دوم است. فاصله‌یی که اشعهٔ (2) در محیط اول از نقطهٔ (B) تا نقطهٔ(C) طی می‌کند $(\overline{BC} = V_1.\Delta t)$ است که در این جا $V_1$ سرعت اشعه در محیط اول است.

از مثلث‌های $A\overset{\Delta}{B}C$ و $A\overset{\Delta}{D}C$ دریافت می‌نماییم که:

$$\sin\theta_1 = \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}} = \frac{V_1 \cdot \Delta t}{AC} \quad ....(I)$$

و

$$\sin\theta_2 = \frac{\overline{AD}}{\overline{AC}} = \frac{V_1 \cdot \Delta t}{AC} \quad ....(II)$$





هر گاه معادلهٔ (I) را به معادلهٔ (II) تقسیم نماییم حاصل می‌کنیم که:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{V_1}{V_2} = n$$

چون می‌دانیم که: $\frac{C}{V} = \frac{v_1 \text{ سرعت نور در خلا}}{v_2 \text{ سرعت نور در محیط}} = n$ اســت، پس می‌توانیم بنویسیم

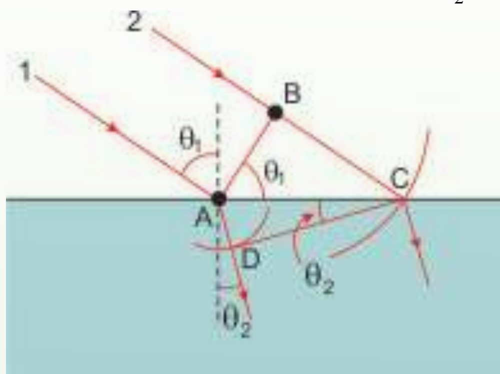
که: $V_1 = \frac{C}{n_1}$ و $V_2 = \frac{C}{n_2}$

به این اساس:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{C/n_1}{C/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \cdot \sin\theta_1 = n_2 \cdot \sin\theta_2$$

و این رابطه فقط همان قانون سنل برای انکسار است که آن را قبلاً معرفی نمودیم.



شکل (4-5)

## مثال‌ها

1 - اشعهٔ نوری که دارای طول موج (نانومتر $550nm$) باشد در هوا حرکت کرده و بالای یک مادهٔ شفاف ضخیم وارد می‌گردد. اشعهٔ وارده با نارمل زاویهٔ $40^\circ.0$ را تشکیل می‌دهد و اشعهٔ منکسره با نارمل زاویهٔ $26^\circ.0$ را می‌سازد، در این حالت ضریب انکسار ماده را دریافت نمایید.

**حل:** با استفاده از قانون سنل و با در نظرداشت این‌که در هوا $n = 1.00$ می‌باشد داریم که:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$n_2 = \frac{n_1 \sin\theta_1}{\sin\theta_2} = (1.00)\frac{\sin 40^\circ.0}{\sin 26^\circ.0}$$

$$\text{ضریب انکسار ماده} = n_2 = \frac{0.643}{0.438} = 1.47$$

2 - اشعهٔ نوری که دارای طول موج $589 nm$ است در هوا حرکت کرده و بالای یک شیشهٔ ضخیم وارد می‌گردد طوری که با نارمل زاویهٔ $30^{\circ}.0$ را تشکیل می‌دهد، در این صورت زاویهٔ انکسار را درشیشه دریافت نمایید؟

**حل**: از قانون سنل برای انکسار حاصل می‌شود که: $\sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1$

چون برای هوا، $n_1 = 1$ و برای شیشه $n_2 = 1.52$ است، پس

$$\sin\theta_2 = \frac{(1.00)}{(1.52)}\sin 30^{\circ} = 0.329$$

این زاویه نسبت به زاویهٔ وارده کوچکتر است، یعنی اشعهٔ منکسره به نارمل نزدیک می‌شود.

## 4-1-1: قوانین انکسار

مطالعات تجربوی جهت های شعاع‌های وارده و منکسرهٔ نوری نتایج ذیل را به دنبال دارد:

1. شعاع وارده، خط نارمل و شعاع منکسره در یک مستوی واقع اند.

2. برای شعاعی که از یک محیط شفاف(هوا) وارد محیط شفاف دیگر(آب)می‌گردد، نسبت ساین زاویهٔ وارده $(\sin i)$ بر ساین زاویه منکسره $(\sin r)$ یک مقدار ثابت است. این مقدار ثابت را ضریب انکسار محیط اول نسبت به محیط دوم می‌گویند و آنرا توسط حرف $n$ نشان می‌دهند. ضریب انکسار $n$ تابع نوعیت هر دو محیطهایی است که نور از یکی آن وارد دیگری می‌شود. ضریب انکسار یک محیط را نسبت به خلا (یا به‌صورت تقریبی هوا) به‌نام ضریب انکسار مطلقه یاد می‌نمایند، یعنی:

$$\frac{\sin i_{\text{درهوا}}}{\sin r_{\text{در محیط شفاف}}} = n \quad \text{.......(1)}$$ (ضریب انکسار مطلقهٔ محیط)

**مثال**

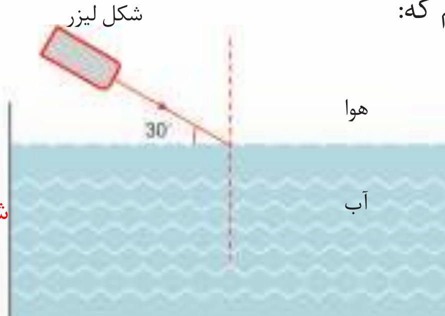
شعاع نوری مطابق شکل ذیل با زاویهٔ $30^0$ نسبت به افق، بالای سطح آب وارد می گردد. اگر ضریب انکسار آب $1.33$ باشد، زاویهٔ انکسار را محاسبه نمایید.





**حل:** مطابق به شکل، $\hat{i} = 60^\circ$ است.

با استفاده از قانون انکسار می‌توانیم بنویسیم که:



شکل (4-6)

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \Rightarrow \frac{\sin 60^\circ}{\sin r} = 1.33$$

$$\sin r = \frac{\sin 60}{1.33} = \frac{0.86}{1.33} = 0.65$$

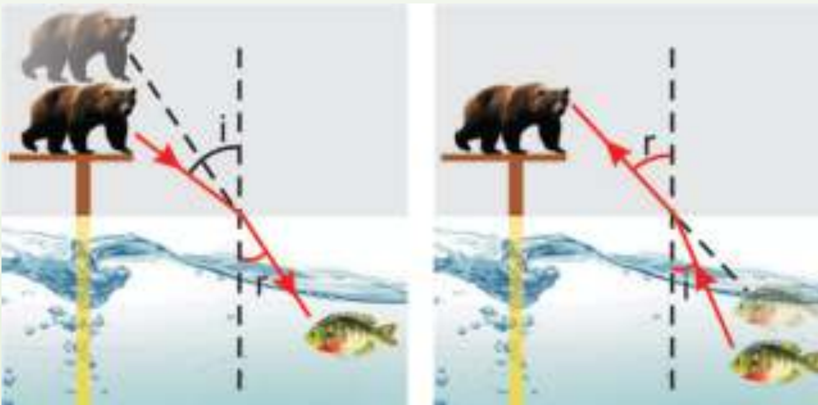
$$\hat{r} = 40.5^\circ$$

**فعالیت**

هرگاه نور از آب با ضریب انکسار $n_1$ وارد هوا که ضریب انکسار آن $n_2$ است گردد، درحالی‌که $n_1 > n_2$ باشد، رابطهٔ (۱) را چگونه می‌توانیم بنویسیم؟

## عمق ظاهری و واقعی

در شکل ذیل آیا خرس، ماهی را در محل حقیقی اش در آب می‌بیند؟ و هم‌چنان آیا ماهی که در آب است خرس را در محل حقیقی اش می‌بیند؟




a) برای خرسی که بالای یک پایه قرار دارد یک ماهی در آب نسبت به محل حقیقی آن نزدیک به سطح آب معلوم می‌شود.

b) برای ماهی در آب، خرسی که بالای پایه موقعیت دارد نسبت به سطح آب به فاصلهٔ بیشتر معلوم می‌شود.

شکل (4-7)

طوری‌که درشکل دیده می‌شود، ماهی برای خرس از محل واقعی آن بلند تر، یعنی نزدیک به سطح آب معلوم می‌شود و خرس برای ماهی از محل واقعی آن به فاصلهٔ بیشتر، یعنی دور تر از سطح آب دیده می‌شود. شما می‌دانید زمانی‌که نور از یک محیط شفاف وارد محیط شفاف دیگر می‌گردد، در سطح مشترک دو محیط انکسار می‌نماید. به همین سبب است که ماهی توسط خرس بلندتر و خرس توسط ماهی دورتر دیده می‌شود.



**فعالیت**

با ترسیم دو شعاع از یک نقطه نشان دهیدکه چرا ماهی توسط خرس نزدیک به سطح آب و خرس توسط ماهی به فاصلهٔ بیشتر، یعنی دورتر از سطح آب دیده می‌شود.

در شـــکل(8-4) موقعیت یک ســـکه در ظرف مملو از آب نشان داده شده است.

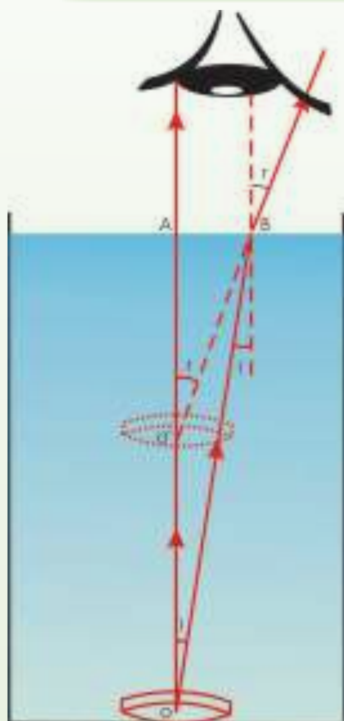
دو شـــعاع را از نقطهٔ O که به ســـطح آب وارد می‌شـــود رســـم می‌نماییم. اشعهٔ $\overline{OA}$ بدون انکسار داخل هوا می‌گردد. مگر اشعهٔ $\overline{OB}$ در ســـطح جدایی دو محیط انکسار نموده و از عمود بالای سطح آب فاصله می‌گیرد یعنی $r > i$. با استفاده از قوانین انکســـار و با در نظرداشـــت زوایای وارده و منکسره می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{1}{n} \text{..........I}$$

با توجه به شکل و خصوصیات زوایای متوافقه و متبادله واضح می‌گردد که زاویهٔ $A\hat{O}B$ مساوی به زاویهٔ واردهٔ $\hat{i}$ و زاویهٔ $A\hat{O'}B$ با زاویهٔمنکسره $\hat{r}$ مساوی می‌باشد.

به اساس تعریف ساین در مثلث‌های قایم الزویهٔ $A\hat{O}B$ و $A\hat{O'}B$ می‌توانیم بنویسیم که:

$$\sin \hat{i} = \frac{AB}{OB} \qquad \sin \hat{r} = \frac{AB}{O'B}$$




شکل (8-4) دیدن سکه در یک سطل پر از آب



در نتیجه داریم که:

$$\frac{\sin \hat{1}}{\sin \hat{2}} = \frac{\overline{O'B}}{\overline{OB}}$$

اگر زاویهٔ منکسرهٔ $r$ به اندازهٔ کافی کوچک باشد، یعنی بتوانیم به سکه طور عمودی ببینیم، پس $\overline{O'B} = \overline{O'A}$ و $\overline{OB} = \overline{OA}$ می‌باشد.

از این جا داریم که :

$$\frac{\sin \hat{1}}{\sin \hat{2}} = \frac{\overline{O'A}}{\overline{OA}}$$

با در نظر داشت رابطهٔ(1) می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{\overline{O'A}}{\overline{OA}} = \frac{1}{n}$$

پس:

$$\text{عمق ظاهری} = \overline{O'A} = \frac{\overline{OA}}{n}$$

و یا

$$\text{عمق ظاهری} = \frac{\text{عمق واقعی}}{\text{ضریب انکسار محیط شفاف}} \quad ..........(2)$$

**مثال**:

عمق ظاهری یک حوض 1.5m متر است. اگر ضریب انکسار آب 1.3 باشد، عمق واقعی حوض را محاسبه نمایید.

**حل**:

$$\overline{O'A} = \frac{\overline{OA}}{n}$$

$$1.5 = \frac{\overline{OA}}{1.3}$$

$$\overline{OA} = 1.95\text{m}$$

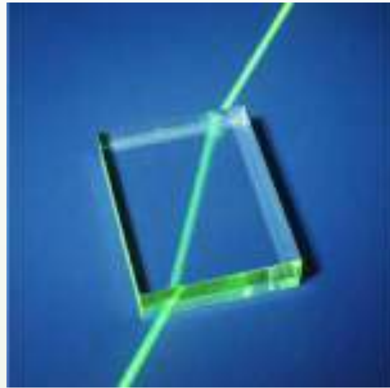
در این جا $O'A$ عمق ظاهری و $OA$ عمق واقعی حوض می‌باشد.

**فعالیت**

رابطه (2) را برای حالتی بنویسید که مشاهد در محیط غلیظ (آب) با ضریب انکسار n قرار داشته و جسمی را در محیط رقیق (هوا) مشاهده می‌کند.

## 4-1-2. مسیر نور در یک تیغهٔ متوازی السطوح

تیغهٔ متوازی السطوح عبارت از محیط شفافی است که دارای دو دیوپتر موازی باشد؛ مانند شیشه ضخیم. دیوپتر سطح جدایی دو محیط شفاف را گویند. یک تیغهٔ متوازی السطوح با ضریب انکسار $n_2$ در محیطی با ضریب انکسار $n_1$ قرار دارد. زمانی‌که نور از تیغه عبور می کند دوبار انکسار می‌نماید مانند شکل (9-4). انکسار اول زمانی رخ می دهد که نور داخل تیغه می گردد و انکسار دوم در هنگام خارج شدن نور از تیغه واقع می شود.



شکل (9-4) انکسار نور در تیغهٔ متوازی السطوح

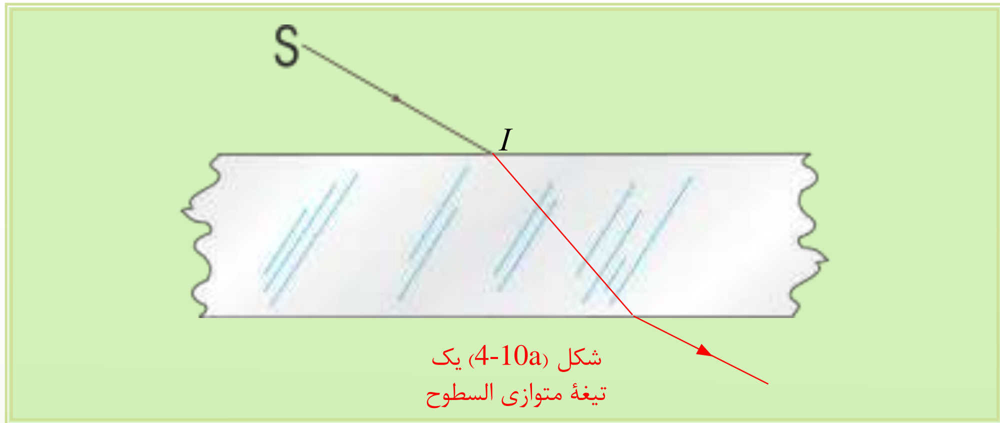
**فعالیت**

مواد مورد ضرورت

یک تیغه(متوازی السطوح)، منبع تولید کنندهٔ یک اشعهٔ باریک نور، مقوا، خط کش، پنسل و پنسل پاک

### طرزالعمل

1. مطابق شکل ذیل (4-10a) یک تیغهٔ متوازی السطوح را بالای مقوا بگذارید و یک اشعهٔ باریک نور را طوری بالای این تیغهٔ متوازی السطوح وارد نمایید که مسیر نور بالای مقوا دیده شود. مسیر نور واردهٔ *SI* را بالای این محیط شفاف و مسیر نور خروجی از این محیط را رسم نمایید.
2. نور وارده بالای شیشه و نور خروجی از شیشه نسبت به هم چگونه اند؟



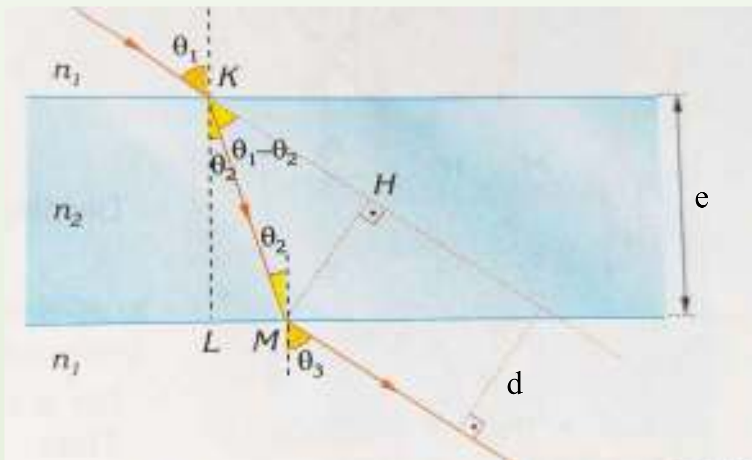

شکل (4-10a) یک
تیغهٔ متوازی السطوح

در نتیجهٔ ترسیم، شما خواهید دید که شعاع خروجی از تیغهٔ متوازی‌السطوح نسبت به شعاع وارده به به یک فاصله تغییر مکان نموده است (لغزیده است). فورمول مربوط به این تغییر مکان را پیدا می‌نماییم.

برای این مقصد اشعهٔ نوری را در نظر می گیریم که مطابق شکل (4-10a) از محیط 1 با ضریب انکسار $n_1$ به محیط 2 که دارای ضخامت $e$ و ضریب انکسار $n_2$ است وارد می گردد.

برای انکسار اول با استفاده از قانون سنل می توانیم بنویسیم که:

$$\sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1 \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$




شکل (4-10b)تیغه متوازی السطوح شعاع خروجی را با یک لغزش نسبت به شعاع ورودی و موازی با آن انکسار می دهد.

هم‌چنان برای انکسار دوم اشعه می توانیم بنویسیم که :

$$\sin\theta_3 = \frac{n_2}{n_1}\sin\theta_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

با وضع کردن قیمت $\sin\theta_2$ از معادلهٔ(1) در معادلهٔ (2) حاصل می‌نماییم که :

$$\sin\theta_3 = \frac{n_2}{n_1}\left(\frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1\right) = \sin\theta_1 \Rightarrow \sin\theta_3 = \sin\theta_1$$

بنابر این $\theta_3 = \theta_1$ می‌باشد و تیغه جهت نور را تغییر نمی‌دهد. مگر نور خروجی از آن با نور وارده موازی و به فاصلهٔ $d$ تغییر مکان می‌نماید، چنان‌چه در شکل(4-10b) نشان داده شده است. اگر ضخامت تیغه دو برابر گردد، کدام تغییر به‌وجود می‌آید؟

آیا فاصلهٔ تغییر مکان بین اشعهٔ خروجی و وارده نیز دو برابر می‌شود؟

برای حل این موضوع رابطه بین ضخامت تیغه و تغییر مکان اشعه نوری را مطالعه می‌نماییم. در شکل E مثلث $K\overset{\Delta}{L}M$ می‌توانیم بنویسیم که :

$$\cos\theta_2 = \frac{|KL|}{|KM|} = \frac{e}{|KM|}$$

هم چنان از مثلث $K\overset{\Delta}{M}H$ داریم که:

$$\sin(\theta_1 - \theta_2) = \frac{|MH|}{|KM|} = \frac{d}{|KM|}$$

از ترکیب این دو معادله حاصل می‌نماییم که:

$$\frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\cos\theta_2} = \frac{d}{e}$$

$$d = e \cdot \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\cos\theta_2}$$

درجهٔ زاویهٔ واردهٔ داده شدهٔ $\theta_1$ و زاویهٔ منکسرهٔ $\theta_2$ تنها توسط ضریب انکسار تعیین می‌گردد، بنابرین فاصلهٔ تغییر مکان $(d)$ متناسب با e می‌باشد. اگر ضخامت تیغه دو برابر شود، تغییر مکان اشعه نیز دو برابر می‌شود.

مثال ها

1 نور از هوا با زاویه 60 درجه نسبت به نارمل بالای تیغهٔ متوازی السطوح وارد می گردد. اگر ضریب انکسار تیغهٔ 1.5 باشد، زاویهٔ منکسره و زاویهٔ شعاع خروجی را دریابید.

$$\left.\begin{aligned}\theta_1 &= 60^o\\ n_1 &= 1\\ n_2 &= 1.5\\ \theta_2 &= ?\\ \theta_3 &= ?\end{aligned}\right\}\qquad \begin{aligned}&n_1\cdot \mathrm{Sin}\theta_1 = n_2\cdot \mathrm{Sin}\theta_2\\ &1\cdot \mathrm{Sin}60^o = 1.5\cdot \mathrm{Sin}\theta_2\\ &\frac{\sqrt{3}}{2} = 1.5\cdot \mathrm{Sin}\theta_2 \Rightarrow \mathrm{Sin}\theta_2 = \frac{\sqrt{3}}{3}\\ &\Rightarrow \theta_2 = 35.2^o\end{aligned}$$

چون می دانیم $\theta_1 = \theta_3$ است، پس می توانیم بنویسیم که: $\theta_3 = 60^o$

2 شعاع نوری با زاویهٔ $30^o$ نسبت به نارمل بالای تیغهٔ متوازی السطوحی با ضخامت 10 سانتی متر وارد می گردد. لغزش شعاع ورودی رامحاسبه کنید. ضریب انکسار محیط تیغه 1.5 است.

$$\left.\begin{aligned}\theta_1 &= 30^o\\ e &= 10cm\\ n &= 1.5\\ \theta_2 &= ?\\ d &= ?\end{aligned}\right\}\qquad \begin{aligned}&\frac{\mathrm{Sin}\theta_1}{\mathrm{Sin}\theta_2} = n \Rightarrow \mathrm{Sin}\theta_2 = \frac{\mathrm{Sin}\theta_1}{n}\\ &\mathrm{Sin}\theta_2 = \frac{\mathrm{Sin}30}{1.5} = \frac{0.5}{1.5} = 0.33\\ &\theta_2 = 19.5^o\\ &d = e\cdot\frac{\mathrm{Sin}(\theta_1-\theta_2)}{\mathrm{Cos}\theta_2} = 10cm\cdot\frac{\mathrm{Sin}(30-19.5)}{\mathrm{Cos}19.5}\\ &d = 1.93cm\end{aligned}$$

**سوالات**

1. شعاع نور از شیشهٔ ضخیم داخل هوا می‌شود. هر گاه ضریب انکسار شیشه 1.52 و زاویهٔ انکسار آن $45^o$ باشد. زاویهٔ وارده را معلوم کنید.

2- شعاع نور از یک شیشهٔ ضخیم با ضریب انکسار 1.6 داخل هوا می‌شود. هر گاه زاویهٔ وارده $15^o$ باشد، زاویهٔ انکسار را دریافت نمائید.

## 4-2: زاویهٔ بحرانی

دیدیم که هر گاه نور از محیط غلیظ وارد محیط رقیق گردد (طور مثال از آب داخل هوا شود)، شعاع منکسره نسبت به نارمل فاصله می‌گیرد، و زاویهٔ منکسره نسبت به زاویهٔ وارده بزرگتر می‌شود. اگر زاویهٔ منکسره به $90^\circ$ برسد، یعنی که اشعهٔ منکسره مماس با سطح جدایی دو محیط باشد، در این حالت زاویهٔ وارده را زاویهٔ حدی یا بحرانی می‌گویند. در شکل(4-11) زاویهٔ حدی یا بحرانی نشان داده شده است.

**مثال**

زاویهٔ بحرانی را برای سطح جدایی دو محیط آب – هوا در صورتی دریافت نمایید که ضریب انکسار آب 1.33 باشد.

**حل**

$n_i = 1.33$

$n_r = 1.00$

$\theta_c = ?$

برای دریافت زاویهٔ بحرانی داریم که:

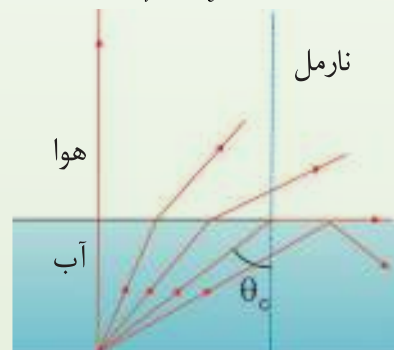
در این جا $\theta_i = \theta_c$ , $\theta_r = 90^\circ$ بوده پس

$$\sin\theta_c = \frac{n_r}{n_i} = \frac{1}{1.33}$$

$$\theta_c = 48.6^\circ$$



(a)

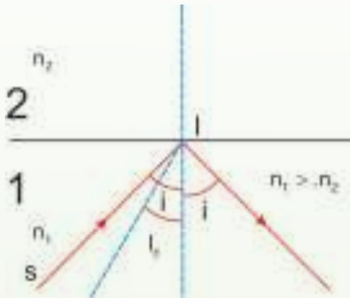


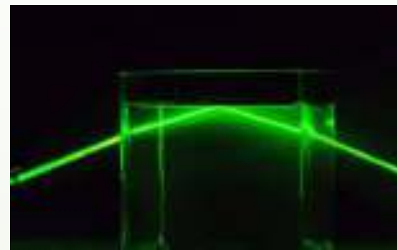

(b)

شکل(4-11) در زاویهٔ بحرانی $\theta_c$، اشعهٔ نوری منکسره مماس با سطح جدایی دو محیط می‌باشد

## 1-2-3: انعکاس کلی

اگر اشعه نوری از محیط غلیظ طوری وارد محیط رقیق شود که زاویهٔ وارده بزرگتر از زاویهٔ بحرانی، یعنی $(\theta_i > \theta_c)$ شود، در این حالت اشعهٔ وارده از محیط اولی خود خارج نمی‌شود و سطح جدایی دو محیط به‌حیث یک آیینهٔ مستوی عمل می‌کند و اشعهٔ وارده را دو باره به محیط اولی منعکس می‌سازد. این حادثه را به‌نام انعکاس کلی یاد می‌نمایند، شکل (12-4).



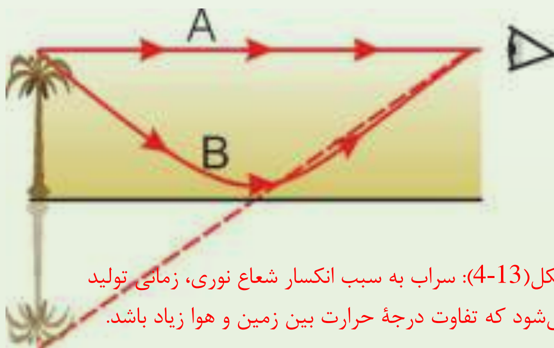



شکل (12-4): انعکاس کلی نور در آب

## سراب

پدیدهٔ سراب معمولاً در صحراها و سرک ها در روز های گرم مشاهده می شود. وقتی‌که در روزهای گرم تابستان سطح زمین گرم می‌شود، درجهٔ حرارت طبقات هوای نزدیک به آن نسبت به اقشار بالاتر بیشتر شده و در نتیجه کثافت آن کم و ضریب انکسار آن کوچک می‌گردد، بنابر این طبقات هوا در ارتفاعات مختلف دارای کثافت‌های گوناگون و ضریب انکسار متنوع می گردد.

این اثر می‌تواند تصویری مانند شکل(13-4) به‌وجود آورد. در این حالت یک مشاهد درخت را از دو مسیر مختلف می‌بیند.




شکل(13-4): سراب به سبب انکسار شعاع نوری، زمانی تولید می‌شود که تفاوت درجهٔ حرارت بین زمین و هوا زیاد باشد.

قسمتی از اشعه به چشمان مشاهد از طریق مسیر مستقیم A می‌رسد و مشاهد از همین مسیر، درخت را به صورت عادی می‌بینند. شعاع‌های نوری که از درخت به طور مایل به سطح زمین می تابند، در اثر عبور از طبقات هوا با ضریب انکسار بیشتر به طبقات با ضریب کمتر به تدریج به طرف بالا انکسار می‌کنند تا این که در طبقات نزدیک به سطح زمین زاویهٔ وارده آن ها از زاویهٔ حدی بزرگتر شده و انعکاس کلی صورت می‌گیرد. شعاع‌های منعکسه بعد از انکسارهای متوالی (از طبقات بالا به پایین) به چشم مشاهد می‌رسد؛ در این حالت طبقات نزدیک به سطح زمین که نور را انعکاس می‌دهند مانند سطح آب به نظر می‌رسند.

**سوال**

جواب درست را از ستون B انتخاب و به مقابل شمارهٔ مربوط در ستون A قرار دهید

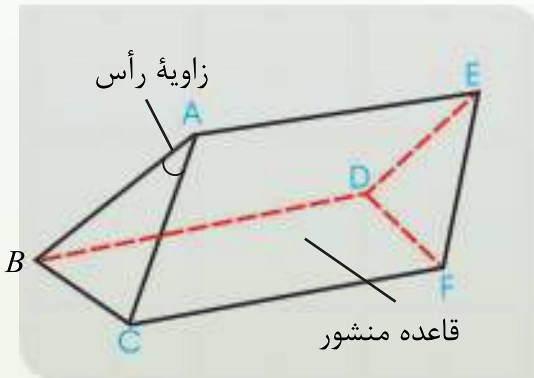
| A | B |
|---|---|
| 1. انکسار | (a) وقتی واقع می‌شودکه اشعهٔ منکسره مماس با سطح جدایی دو محیط باشد و زاویهٔ منکسره، به $90^\circ$ برسد. |
| 2. سراب | (b) زاویهٔ وارده و زاویهٔ منکسره با هم مساوی است. |
| 3. زاویهٔ بحرانی | (c) در روزهای گرم تابستان صورت می‌گیرد. |
| 4. انعکاس کلی | (d) عبارت از تغییر در مسیر نور است. |
| | (e) در روزهای بارانی دیده می‌شود. |
| | (f) وقتی واقع می‌شود که زاویهٔ وارده از زاویهٔ حدی یا بحرانی بزرگتر باشد. |

## 4-2-2: **منشور**

در توضیح خاصیت نور گفته شد که نور سفید در حقیقت، ترکیبی از هفت رنگ مختلف است. حال پرسش به‌وجود می‌آید که چگونه می‌توانیم بدانیم که نور سفید ترکیبی از هفت رنگ می‌باشد؟

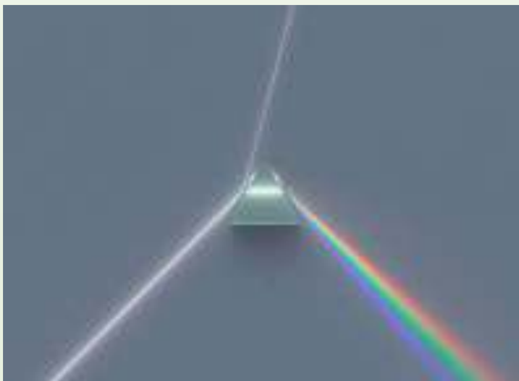
این سؤال را به کمک خاصیت منشور جواب داده می توانیم. این که منشور چیست و چگونه کار می کند، طور ذیل توضیح می‌نماییم:

منشور عبارت از جسم شفافی است که توسط دو سطح غیر موازی که با یکدیگر زاویهٔ دو وجهی را تشکیل بدهندمحدود شده است. خط مشترک این دو سطح $(AE)$ عبارت از خطی می‌باشد که به‌نام ضلع انکسار یاد می‌شود. سطح $CBDF$ که در مقابل زاویهٔ رأس منشور واقع است، به‌نام قاعدهٔ منشور یاد می‌شود. زاویهٔ $B\hat{A}C$ که توسط دو سطح غیر موازی تشکیل می‌گردد، به‌نام زاویهٔ رأس منشور یاد می‌شود. این زاویه را زاویهٔ انکسار منشور نیز می‌گویند، شکل(3-14).




شکل(4-14)یک منشور را نشان می‌دهد.

زاویه‌یی که از امتداد شعاع وارده به منشور و شعاع خروجی از منشور حاصل می‌شود، به‌نام زاویهٔ انحراف یاد شده که در این جا توسط D نشان داده شده است. زاویهٔ انحراف مربوط به زاویهٔ رأس، ضریب انکسار منشور و زوایای ورودی و خروجی منشور می‌باشد، شکل(4-15).



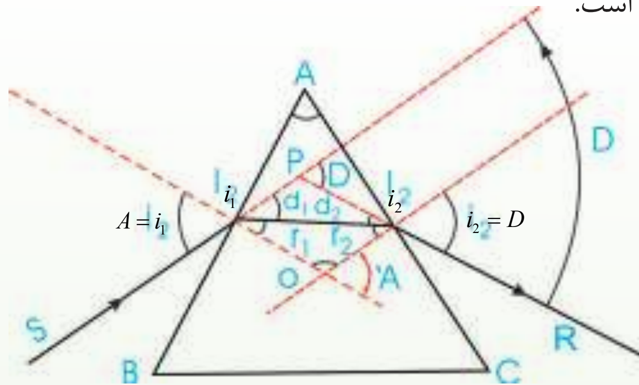
منشور دارای دو خاصیت مهم است:

1 - اشعهٔ نوری را بعد از انکسار به سمت قاعدهٔ خود منحرف می‌سازد.

2 - نور سفید را به یک طیفی از رنگ‌ها تجزیه می‌کند.

## مسیر نور در منشور

در شکل (4-15) مقطع یک منشور شیشه‌یی نشان داده شده است. شعاع SI که به یک وجه منشور تابیده است بعد از انکسار در نقطهٔ I وارده منشور شده و با انکسار مجدد از وجه دیگر خارج شده است.




شکل (4-15) نمایش زاویهٔ انحراف در منشور

از شکل (4-15) دیده می‌شود که زوایای $\hat{i}_1$ و $\hat{A}$ باهم مساوی اند؛ زیرا اضلاع آن‌ها دو به دو باهم عمود اند و هم‌چنان زوایای $\hat{D}$ و $\hat{i}_2$ قرار متوافقه باهم مساوی اند، پس می‌توان نوشت:

$$\hat{D} = \hat{i}_2 \quad \text{و} \quad \hat{A} = \hat{i}_1$$

از جمع کردن هر دو حالت معادلات: $\hat{D} + \hat{A} = \hat{i}_1 + \hat{i}_2$

و یا $\hat{D} + \hat{i}_1 + \hat{i}_2 - \hat{A}$

و در صورت انحراف اصغری باید $\hat{i}_1 = \hat{i}_2$ و $\hat{r}_1 = \hat{r}_2$ باشد.

یعنی در یک منشور، زاویهٔ انحراف D زمانی اصغری می‌باشد که زاویهٔ ورودی مساوی به زاویهٔ خروجی شود. پس داریم که:

$$\hat{D}_m = 2\hat{i} - \hat{A}$$

$$\hat{D}_m + \hat{A} = 2\hat{i}$$

یا

$$\hat{i} = \frac{\hat{D}_m + \hat{A}}{2}$$

چون $\hat{A} = \hat{r}_1 + \hat{r}_2$ و $\hat{r}_1 + \hat{r}_2 = \hat{r}$ است، پس $\hat{A} = 2\hat{r}$ یا $\hat{r} = \frac{\hat{A}}{2}$

اگر قیمت‌های $\hat{i}$ و $\hat{r}$ را در رابطهٔ $\sin \hat{i}_1 = n \sin \hat{r}_1$ وضع نماییم، می‌توانیم بنویسیم که:

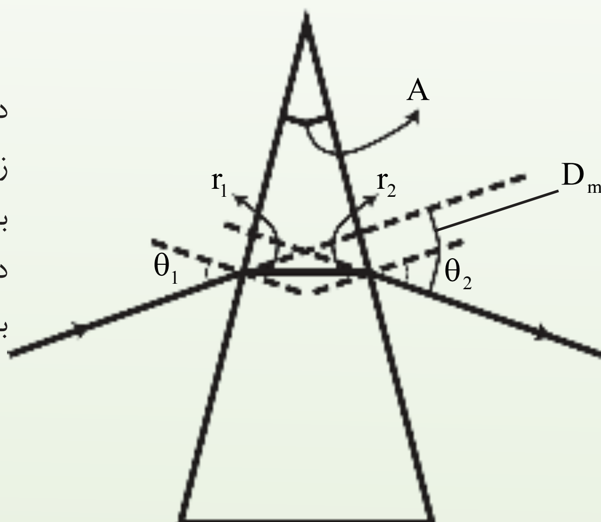
$$n = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{\sin \frac{\hat{D}_m + \hat{A}}{2}}{\sin \frac{\hat{A}}{2}}$$

با استفاده از رابطهٔ فوق، ضریب انکسار منشور را می‌توانیم اندازه نماییم. اگر زاویهٔ منشور کوچک باشد، زاویهٔ انحراف اصغری نیز کوچک می‌باشد و می‌توانیم عوض sin زاویه خود زاویه را بنویسیم؛ بنابر این داریم که:

$$n = \frac{\frac{\hat{D}_m + \hat{A}}{2}}{\frac{\hat{A}}{2}}$$

$$n = \frac{\hat{D}_m + \hat{A}}{\hat{A}} \Rightarrow \hat{D}_m = \hat{A}(n-1)$$

شکل(4-16)




طوری که گفته شد زاویهٔ انحراف در یک منشور زمانی اصغری است که زاویهٔ ورودی و خروجی با هم مساوی باشند، چنانکه در شکل(3-16) نشان داده شده است اکنون ضریب انکسار را برای مادهٔ منشور دریافت می‌نماییم.

از گذشته می‌دانیم که:

$$\hat{\theta}_2 = \frac{\hat{A}}{2}$$

درحالی‌که در این جا $\hat{A}$ زاویهٔ رأس منشور است و برای انحراف اصغری داریم:

$$\hat{\theta}_1 = \hat{\theta}_2 + \hat{\alpha} = \frac{\hat{A}}{2} + \frac{\hat{D}_m}{2} = \frac{\hat{A} + \hat{D}_m}{2}$$





با درنظر داشت این‌که $n=1$ است، زیرا محیط اول هوا می‌باشد، از قانون سنل داریم که :

$$\sin\theta_1 = n\sin\theta_2$$

$$\sin\left(\frac{A+D_m}{2}\right) = n\sin(A/2)$$

$$n = \frac{\sin\frac{(A+D_m)}{2}}{\sin A/2}$$

از این جا با داشتن زاویهٔ رأس منشور (A) و اندازه کردن $D_m$ می‌توانیم ضریب انکسار مادهٔ منشور را محاسبه نماییم.

**فعالیت**

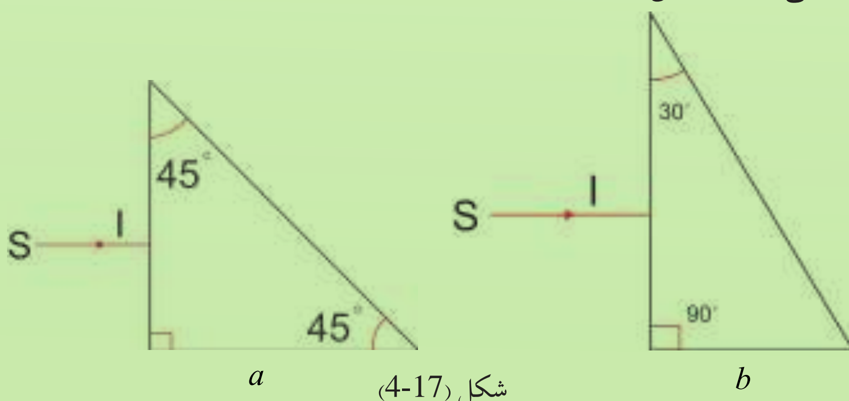
1 - در شکل (4-17a) ذیل مقطع یک منشور قایم‌الزاویهٔ متساوی‌الساقین داده شده است. زاویهٔ حدی این منشور $45^o$ است. اشعهٔ نور یک رنگ بالای صفحهٔ منشور طور عمود وارد می‌گردد.

الف) مسیر این اشعهٔ نوری را الی صفحهٔ دیگر منشور ترسیم نمایید.

ب) زاویه انتشار اشعهٔ نوری را در داخل منشور معلوم نمایید.

این زاویه را با زاویهٔ حدی منشور مقایسه کرده و مسیر اشعه را تکمیل نمایید.

در شکل (4-17b) زاویهٔ حدی منشور $42^o$ است. مسیر اشعهٔ نوری $SI$ را که دارای یک رنگ می‌باشد تکمیل نمایید.




شکل (4-17)

## 4-3: تجزیهٔ نور



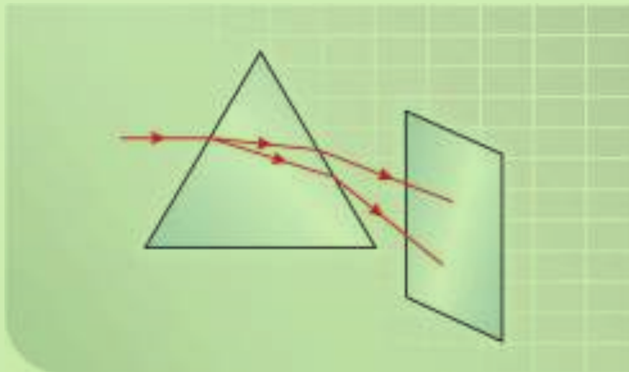
**فعالیت**

هدف: تجزیهٔ نور

مواد مورد ضرورت: منبع نور، منشور، ورق سفید کاغذ

### طرزالعمل

تجربه در یک اتاق نسبتاً تاریک اجرا گردد. نور را بالای وجه منشور وارد نمایید. در جانب دیگر منشور، در مقابل نور خروجی ورق سفید کاغذ را قرار دهید. اگر تجربه را به دقت انجام دهید، بر روی صفحهٔ کاغذ، نورهای رنگارنگ را مشاهده خواهید کرد. در شکل ذیل طریقهٔ اجرای تجربه نشان داده شده است.



شکل (4-18)

الف) نام این رنگ‌ها را به ترتیب بنویسید.

ب) از این تجربه چه نتیجه می‌گیرید؟





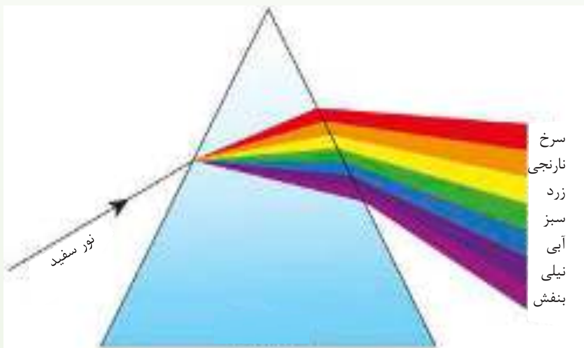
## 4-3-2: **تجزیهٔ نور سفید در منشور**

طوری‌که در فعالیت دیدیم، زمانی‌که نور سفید از منشور عبور داده شود به رنگ های مختلف تجزیه می شود.

مرتبهٔ اول نیوتن با عبور دادن نور آفتاب از یک منشور نشان داد که نور سفید ترکیبی از رنگ‌های مختلف است. سبب تجزیهٔ نور توسط منشور این است که ضریب انکسار منشور برای رنگ‌های مختلف متفاوت می‌باشد. شکل(4-19) تجزیهٔ نورسفید و رنگ‌های حاصله از آن را نشان می‌دهد. این سلسله رنگ‌ها به‌نام نور قابل دید یاد می‌شود. این رنگ‌ها به ترتیب عبارت اند از: رنگ سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش.

رنگ‌های حاصل شده از تجزیهٔ نور توسط منشور به‌نام طیف نوری یاد می‌شود.






شکل (4-19): تجزیهٔ نور سفید توسط منشور

## 4-3-3: **رنگین کمان** (*Rainbow*)

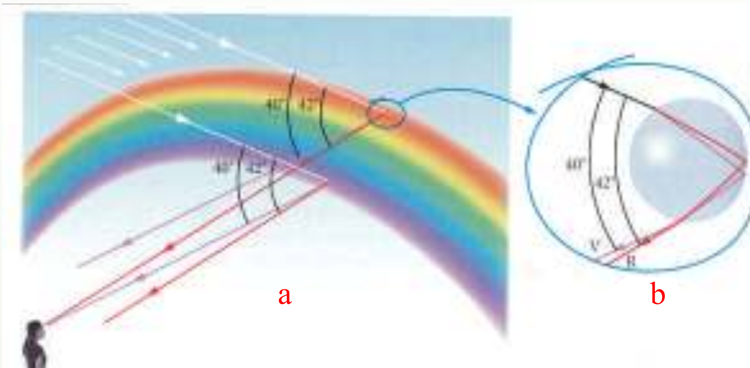
شما دیده باشید که در روزهای بهار بعد از ریزش باران در آسمان یک قوس از رنگ‌های مختلف تشکیل می‌شود که به‌نام رنگین کمان (کمان رستم) یاد می‌گردد. تشکیل رنگین کمان تجزیهٔ نور را در طبیعت به‌صورت واضح ثابت می‌نماید. رنگین کمان چگونه تشکیل می‌شود؟

زمانی‌که شعاع آفتاب در هوا بالای یک قطرهٔ آب بتابد اول در سطح پیش روی قطره طوری انکسار می نماید که نور بنفش بیشترین انحراف و نور سرخ کمترین انحراف را دارد.





بعد همین نور منکسره بالای سطح عقبی قطره وارد می‌شود و بر اثر انعکاس کلی دوباره به سطح پیش روی قطره بر می‌گردد. از آن‌جا بار دیگر انکسار نموده این مرتبه از آب داخل هوا می‌شود. این شعاع از قطره طوری خارج می‌شود که بین نور واردۀ سفید و شعاع منعکسۀ بنفش زاویۀ $40^\circ$ و با شعاع رنگ سرخ زاویۀ $42^\circ$ را تشکیل می‌دهد؛ چنانکه در شکل (4-20) نشان داده شده است.




شکل (4-20a) تشکیل رنگین کمان در قطرات باران به وسیلۀ تجزیۀ نور
( b) انعکاس داخلی در سطح عقبی قطرۀ باران

### یک مشاهد، رنگین کمان را چگونه می‌بیند؟

به این پرسش با درنظرداشت شکل(4-20a) پاسخ می‌گوییم. زمانی‌که یک مشاهد قطرۀ باران را که در موقعیت بلند تر قرار دارد، می بیند نور با رنگ سرخ به مشاهده می‌رسد، مگر نور بنفش و رنگ‌های دیگر از بالای سر مشاهد عبور می‌کند؛ زیرا که انحراف نور بنفش نسبت به نور رنگ سرخ بیشتر است؛ بنابراین مشاهد این قطره را به رنگ سرخ می‌بیند. به طور مشابه، قطره‌های که پایین واقع است نور بنفش را به مشاهد منعکس می‌نماید و آن قطره بنفش دیده می‌شود (از این قطره نور با رنگ سرخ به پیش روی مشاهد رسیده و دیده نمی‌شود)رنگ‌های دیگر هم از قطرات به مشاهده می‌رسد که بین موقعیت‌های این دو انتها (نور سرخ و نور بنفش) واقع اند.

گفتنی است که رنگین کمان معمولاً از افق بلند تر دیده می‌شود، چنان‌چه انجام‌های رنگین کمان در زمین از بین می‌رود. اگر یک مشاهد به یک ارتفاع مناسب بلند برده شود مانند طیاره، موصوف رنگین کمان را به شکل یک دایرۀ مکمل خواهد دید.





## خلاصهٔ فصل

- هر گاه نور از یک محیط شفاف (آب) به‌صورت مایل داخل محیط شفاف دیگر(هوا) گردد، مسیر آن تغییر می‌نماید. این حادثه به‌نام انکسار یاد می‌شود.
- زمانی‌که نور از یک محیط شـــفاف داخل محیط شفاف دیگر می‌شود، نسبت ساین‌های زاویهٔ وارده ($i$) و زاویهٔ منکسره($r$)، ضریب انکسار نسبتی بین دو محیط را نشان می‌دهد و به‌نام قانون سنل یاد می‌شود، یعنی:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

- نسبت سرعت انتشار نور در محیط اول ($c_1$) بر سرعت انتشار نور در محیط دوم ($c_2$) مساوی به ضریب انکسار محیط دوم نسبت به محیط اول است، یعنی:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{2.1} = \frac{c_1}{c_2}$$

- تغییر مکان نور خروجی نســبت به نور وارده در یک تیغهٔ متوازی السطوح از رابطهٔ ذیل حاصل می‌شود:

$$d = \frac{e}{\cos\theta_2} \sin(\theta_1 - \theta_2)$$

- هر گاه نور از محیط غلیظ وارد محیط رقیق گردد، طوری که زاویهٔ منکسره به $90^\circ$ برسد یعنی اشـــعهٔ منکسره مماس به سطح جدایی دو محیط باشـــد، در این حالت زاویهٔ وارده را زاویهٔ حدی یا بحرانی می‌گویند.
- اگرشعاع نوری از محیط غلیظ طوری وارد محیط رقیق شود که زاویهٔ وارده بزرگتر از زاویهٔ بحرانی گردد، یعنی ($\theta_i > \theta_c$). در این حالت شـــعاع وارده از محیط اولی خود خارج نمی‌شـــود وسطح جدایی دو محیط به‌حیث یک آیینهٔ مستوی عمل می‌کند و شعاع وارده را دو باره به محیط اولی منعکس می‌نماید. این حادثه را به‌نام انعکاس کلی یاد می‌نمایند.
- منشـــور عبارت از جسم شفافی اســـت که توسط دو سطح غیر موازی که بایکدیگر زاویهٔ دو وجهی تشـــکیل بدهد محدود می‌باشـــد. خط مشترک این دو ســـطح به‌نام ضلع انکسار یاد می‌شود. زاویه‌یی که توسط این دو سطح غیر موازی تشکیل می‌گردد به‌نام زاویهٔ رأس منشور یاد می‌شود.





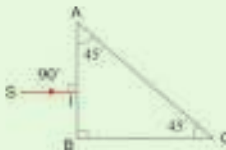
• زاویه‌یی که از امتداد شعاع وارده به منشور و شعاع خروجی ازمنشور حاصل می‌شود به‌نام زاویهٔ انحراف یاد می‌شود و آن‌را توسط D نشان می‌دهند.

## سؤال‌های اخیر فصل چهارم

1. سه شرط برای وقوع حادثهٔ انکسار کدام‌ها اند؟
2. رابطه بین سرعت نور وضریب انکسار یک محیط شفاف چگونه است؟
3. نور از هوا تحت زاویه $42.3^\circ$ وارد آب می‌گردد. زاویهٔ انکسار را در آب دریافت نمایید، ضریب انکسار آب $1.33$ است.
4. اشـعهٔ نوری بالای گیلاس مملو از آب طوری وارد می‌گردد که با نارمل زاویهٔ $36^\circ$را تشـکیل می‌دهد. زاویه بین اشعهٔ منکسره و نارمل را در یافت نمایید.
5. آیـا اشـعهٔ نوری که از یـک محیط وارد محیط دیگر می‌شـود همیشـه بـه نارمل نزدیک می‌گردد؟
6. زاویهٔ بحرانی را برای اشـعه‌یی دریافت نمایید که از آب با ضریب انکسـار $(n_1 = 1.3)$ وارد یخ با ضریب انکسار $(n_2 = 1.5)$ می‌گردد.
7. در کدام حالت ذیل سراب دیده می‌شود؟

a. بالای دریای گرم در روز گرم.
b. در روز خیلی گرم بالای سرک سفالت شده.
c. در روز سرد بالای تپه های کوه.
d. در روز خیلی گرم بالای سنگچل‌های کنار دریا.

8. زمانی‌که نور سـفید از یک منشـور عبور می‌نماید نور رنگ سرخ زیاد انکسار می‌نماید یا نور سبز؟ چرا؟
9. مطابق شکل ذیل اشعهٔ نوری از هوا بالای یک طرف منشور شیشه یی با ضریب انکسار $n = 1.52$ وارد می‌گردد. آیا نور از طرف دیگر منشور خارج می‌شود یا در بین منشور انعکاس کلی می‌نماید؟ توسط ترسیم نشان دهید.




10. رنگین کمان چرا طوری دیده می‌شود که رنگ سرخ آن بالا و رنگ بنفش آن به‌طرف پایین می‌باشد؟

11- شعاع نور تحت زاویهٔ $45^o$ بالای یک ظرف پر ازگلسیرین وارد می‌شود. هر گاه زاویهٔ منکسره $29^o$ باشد، ضریب انکسار گلسیرین را دریافت نمایید.

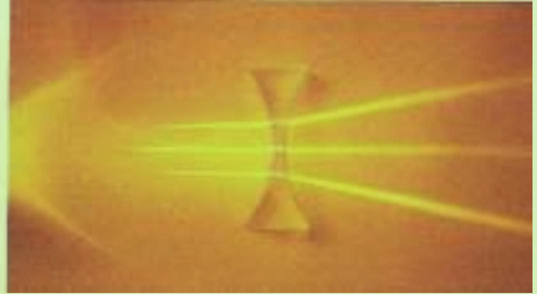
12- ضریب انکسار پطرول $1.50$ است، سرعت نور در پطرول را دریافت نمایید.





# عدسیه‌ها (*Lenses*)





آیا شما از ذره بین استفاده کرده اید؟ شما می‌دانید که در عقب ذره بین اشیای خیلی کوچک، بزرگ معلوم می‌شوند. شما می‌بینید که کهن سالان به خاطر خواندن روز نامه یا کتاب از عینک که یک نوع ذره بین است استفاده می‌نمایند. همین طور بعضی از هم صنفیان شما که نمی‌توانند فواصل نسبتاً دور یا نزدیک را خوب ببینند، از عینک استفاده می‌نمایند. اگر اشیا به اندازه‌یی کوچک باشند که توسط چشم و ذره بین قابل دید نباشند در این حالت از کدام وسیله استفاده خواهد شد؟ واضح است که در این حالت ازمیکروسکوپ استفاده می‌شود. آیا شما میکروسکوپ رامی‌شناسید؟ در میکروسکوپ و دیگر اشیای متذکره از عدسیه‌ها استفاده می‌شود. این‌که عدسیه چیست؟ چند نوع است؟ تصویر چگونه در آن تشکیل می‌شود؟ فورمول عدسیه‌ها چگونه حاصل می‌شود؟ بزرگ نمایی و فورمول آن و ترکیب عدسیه‌ها به تفصیل در این فصل تشریح می‌شود. هم‌چنان چشم انسان، دوربین، پروجکتور و تلسکوپ نیز در همین فصل مطالعه می‌گردد.

### تعریف

محیط شفافی مانند شیشه که توسط دو سطح محدود شده و کم از کم یک سطح آن منحنی باشد به‌نام عدسیه یاد می‌شود. به صورت عموم سطوح عدسیه کروی می‌باشد مگر می‌تواند یکی از آن‌ها مستوی نیز باشد.

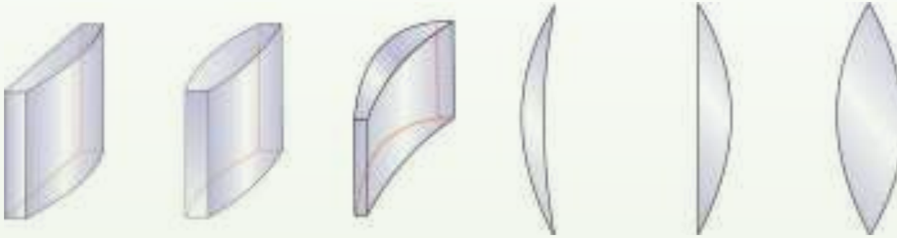
## 5-1: عدسیه‌های باریک

عدســیهٔ باریک عدســیه‌یی را گویند که ضخامت آن به مقایسهٔ شعاع انحنا یا فاصلهٔ شی از عدســیه کوچک باشد. از عدســیه ها برای تشکیل تصویر توسط انکسار نور در آلات نوری مانند دوربین ها، تلسکوپ ها و میکروسکوپ ها استفاده می شود.

عدسیه‌ها را به دو نوع مقعر و محدب تقسیم می‌نمایند.

### عدسیه‌های محدب

در عدســیه‌های محدب شــعاع نوری بعد از عبور از عدســیه با یکدیگر نزدیک می‌شــوند. کناره‌های عدســیهٔ محدب نسبت به قسمت وسطی آن نازک می‌باشد و برای مقاصد مختلف آن را طوری می‌سازند که هر دو طرف آن محدب (محدب الطرفین)، یا یک طرف آن محدب و طرف دیگر آن مستوی باشد و یا هم یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن محدب باشد. این عدسیه‌ها در شکل ذیل نشان داده شده اند. تمامی‌این عدسیه‌ها عدسیه‌های محدب اند.



شکل(5-1) انواع عدسیه های محدب

### عدسیه‌های مقعر

در عدسیه‌های مقعر شعاع نوری بعد از عبور از عدسیه از یکدیگر دور می‌شوند. کناره‌های این عدسیه نسبت به قسمت وسط آن ضخیم می‌باشند و آن‌ها را طوری می‌سازند که هر دو طرف آن مقعر (مقعرالطرفین) یا یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن مستوی می‌باشد و یا یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن محدب می‌باشد؛ طوری‌که در اشکال ذیل نشان داده شده است.



شکل(5-2) انواع عدسیه های مقعر

برای آســانی کار، عدســیهٔ محدب توسط سمبول (↕) و عدسیهٔ مقعر توسط سمبول (Ӽ) نشان داده می‌شود.



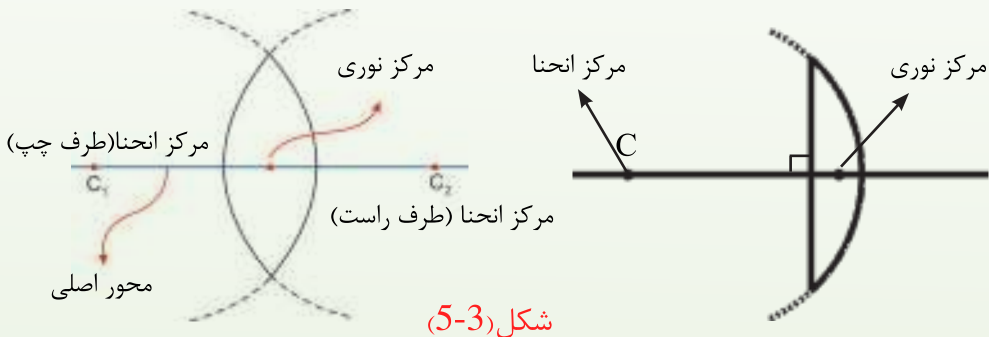


**فعالیت**

یک عدسیهٔ محدب الطرفین و یک عدسیهٔ مقعر الطرفین را به‌حیث مجموعهٔ منشورها رسـم نمایید. چگونه‌گی عبوراشـعهٔ نوری را در آن‌ها مقایسـه کرده و نتایج آن‌را با هم صنفان خود شریک سازید.

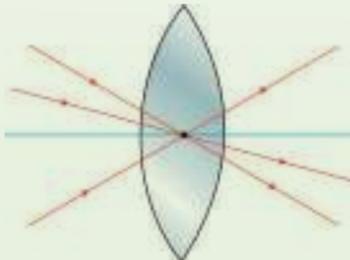
## 1 – خصوصیات عدسیه های محدب

**محور اصلی، مرکز نوری:** خطی که از مرکز انحنای هر دو سطح کروی عدسیه عبور کند محور اصلی عدسـیه گفته می شـود. به عبارت دیگر، خطی که از مرکز و یا رأس سطح منحنی عدسـیه محدب گذشته و بالای سطح مسـتوی آن عمود باشد محور اصلی عدسیه است. نقطه‌یی که در مرکز عدسیه بالای محور اصلی واقع است، به‌نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود. درشکل(3-5) محور اصلی و مرکز نوری عدسیه نشان داده شده است.




شکل(3-5)

تجربه نشان می‌دهد که هر گاه اشعهٔ نور بالای مرکز نوری عدسیه بتابد، بدون انحراف از عدسیه خارج می‌شود، شکل (۴-۴).



شکل(4-5)

## 2 – محراق عدسیۀ محدب الطرفین

برای در یافت و شناخت محراق عدسیۀ محدب الطرفین تجربۀ ذیل را انجام دهید.

**فعالیت**

مواد مورد ضرورت

عدسیۀ محدب الطرفین، یک ورق کاغذ، خط کش

### طرزالعمل

1. یک عدسیۀ محدب الطرفین را مانند شکل (۴-۴) در مقابل آفتاب قرار دهید و ورقۀ کاغذ را مقابل عدسیه طوری جابه‌جا نمایید که یک نقطۀ روشن به روی آن تشکیل گردد. فاصلۀ نقطه روشن از عدسیه را اندازه نمایید.
2. همین تجربه را به طرف دیگر عدسیه انجام دهید و فاصلۀ نقطه روشن از عدسیه را اندازه نمایید. نتیجۀ حاصله را در گزارش کار خود بنویسید.

عدسیۀ محدب شعاع‌های نوری موازی به محور اصلی اش را در یک نقطه بالای محور اصلی اش متمرکز می سازد، این نقطه محراق اصلی عدسیه گفته می شود. فاصله بین مرکز نوری عدسیه و محراق به نام فاصلۀ محراقی یاد می گردد و توسط حرف f نشان داده می شود.
در فعالیت فوق مشاهده نمودید که عدسیۀ محدب الطرفین در هر دو طرف خود دارای محراق می باشد.

شکل (5-5)

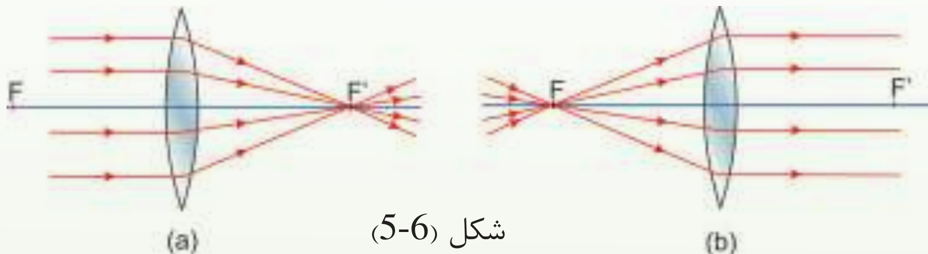
**سؤالات**

1. عدسیه‌های باریک کدام نوع عدسیه‌ها اند؟
2. محور اصلی و مرکز نوری را تعریف نموده و توسط ترسیم نشان دهید.

## 5-2: ترسیم اشعه در عدسیه‌های محدب

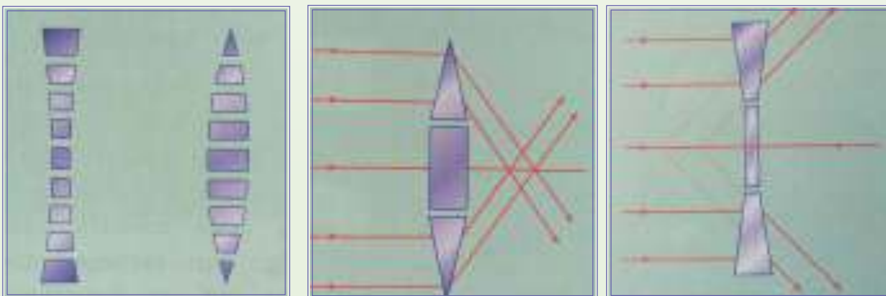
چون فاصلهٔ آفتاب از زمین زیاد است، بنابر این اشعهٔ که از آفتاب بالای یک عدسیه می تابد با یکدیگر موازی اند. در فعالیت قبلی دیدیم که هرگاه اشعهٔ نوری موازی به محور اصلی عدسیهٔ محدب الطرفین بتابد، بعد از عبور از عدسیه در محراق متمرکز می شوند. شکل (5-6b) را ببینید. اگر شعاع نوری از محراق عدسیه گذشته و بالای عدسیه بتابد چگونه پخش می گردد؟

طوری‌که در شکل (5-6b) دیده می‌شود؛ شعاعی که از محراق عدسیه عبور و بالای عدسیه بتابد موازی با محور اصلی عدسیه از عدسیه خارج می‌شود.




شکل (5-6)

در بحث منشور دیدیم، زمانی‌که یک دستهٔ شعاع از منشور عبور می‌نماید، منشور، آن را به طرف قاعده (قسمت ضخیم) منحرف می‌نماید. در این جا نیز می‌توانیم یک عدسیهٔ محدب یا مقعر را به‌حیث ترکیب منشورها قبول نماییم، از قسمت وسط به طرف کناره‌های عدسیه زاویهٔ انحراف آهسته آهسته زیاد می‌شود؛ بنابر این در کناره‌های عدسیه انحراف اشعهٔ نوری زیاد می‌گردد.از این جا واضح می‌شود زمانی‌که اشعهٔ موازی از عدسیهٔ محدب عبور می‌نماید، در محراق اصلی جمع می‌شود و در عدسیهٔ مقعر اشعهٔ نوری بعد از عبور از یکدیگر دور شده و طوری معلوم می‌شود که از محراق عدسیه (محراق مجازی) پخش می‌گردد.



### فعالیت

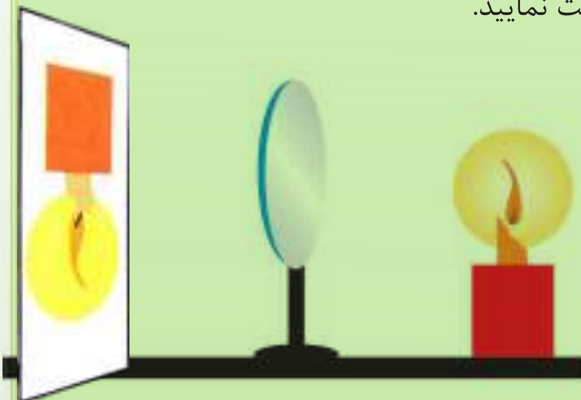
هدف: تشکیل تصویر توسط عدسیهٔ محدب

**مواد مورد ضرورت:** عدسیهٔ محدب الطرفین با پایهٔ آن، شمع، گوگرد و یک ورق کاغذ.

تجربه را در یک اتاق نسبتاً تاریک اجرا نمایید.

### طرز العمل

1. عدسیه را بالای پایهٔ آن نصب کرده و شمع را روشن نمایید.
2. ورق کاغذ را در پیش روی عدسیه طوری جابه‌جا نمایید که محراق بر روی ورق تشکیل شود. فاصلهٔ محراقی عدسیه را اندازه نمایید.
3. مطابق شکل (5-7) شمع را در فاصلهٔ بیشتر از فاصلهٔ محراقی در مقابل عدسیه قرار دهید. ورق کاغذ را در جانب دیگر عدسیه طوری جابه‌جا نمایید که بالای آن تصویر واضح شمع دیده شود.
4. شمع روشن را به محراق عدسیه نزدیک یا از آن دور نمایید و در هر حالت تصویر را بالای کاغذ دیده و نتیجه را یادداشت نمایید.



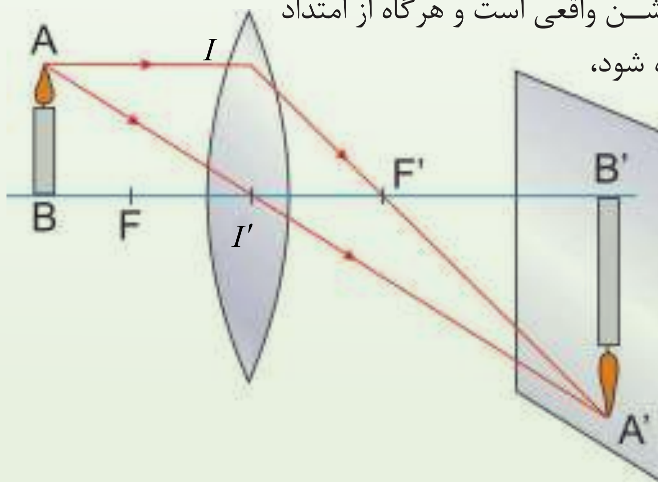
**شکل** (5-7)

5. در کدام فاصله از عدسیه، اندازهٔ تصویر مساوی به اندازهٔ جسم می‌باشد؟ این فاصله را با فاصلهٔ محراقی مقایسه نمایید.

## 5-4: ترسیم تصویر در عدسیه های باریک

یک شـــمع روشـــن را در مقابل یک عدسیهٔ محدب در فاصله‌یی در نظر بگیرید که نسبت به فاصلهٔ محراقی بیشتر باشد، شکل (5-8) دیده شود. از هر نقطهٔ شمع، مانند نقطهٔ A اشعهٔ زیادی بالای عدســیه می‌تابد. از جمله این شعاع‌ها دو شعاع آن‌را در نظر می‌گیریم، یکی آن اشــعهٔ $AI$ (موازی به محور اصلی) و دیگر آن اشعهٔ $AI'$ (اشعهٔ که از مرکز نوری عدسیه عبور می‌نماید). اشعهٔ منکسرهٔ این دو شعاع درنقطهٔ $A'$ یکدیگر را قطع می‌نمایند. هر گاه هر شعاع نوری دیگری نیز از نقطهٔ A بالای عدســیه بتابد، شــعاع منکسرهٔ آن‌ها نیز از نقطهٔ 'A عبور خواهد کرد؛ بنابراین برای حاصل کردن نقطهٔ 'A (که تصویر نقطهٔ A است)، دو اشعه کافی اســت؛ چنانکه در مورد آیینه‌ها گفته شــد، تصویر نقاط دیگر شمع را نیز به همین ترتیب به دســت آورده می‌توانیم. تجربه نشان می‌دهد که اگر یک شی بالای محوراصلی عدسیه عمود باشد، تصویر آن نیز بالای محور عمود است. نقطه‌یی که بالای محور اصلی واقع باشد تصویر آن نیز بالای محور اصلی واقع می‌باشــد؛ بنابر آن با حاصل کردن نقطهٔ 'A (تصویر نقطهٔ A) می‌توانیم تصویر یک شی را که بالای محور اصلی عمود باشد تشکیل بدهیم.

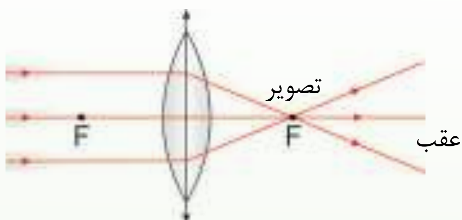
تصویری که در این حالت تشــکیل می‌گردد به‌نام تصویر حقیقی یاد می‌شــود. همانگونه که در شکل (5-8) دیده می‌شود، این تصویر بالای کاغذ یا پرده‌یی که در محل تصویر واقع باشــد، تشــکیل می‌گردد. در این حالت شعاع های منکســره یکدیگر را قطع می‌نمایند. در حقیقت نقطهٔ 'A یک نقطهٔ روشــن واقعی است و هرگاه از امتداد مسیر نقطهٔ 'A به عدسیه دیده شود، نقطهٔ روشن A مشاهده می گردد.




شکل (5-8)

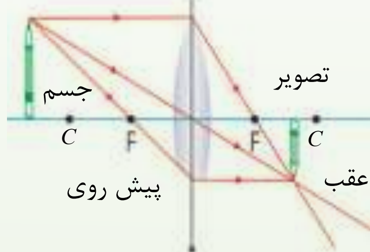
طریقهٔ ترسیم تصویر شی AB در عدسیهٔ محدب الطرفین در حالات ذیل نشان داده شده است:

1. هرگاه شـــی AB از عدســـیه خیلی دور (درلایتناهی) واقع باشد، تصویر آن مانند نقطه در محراق تشکیل می‌شود.



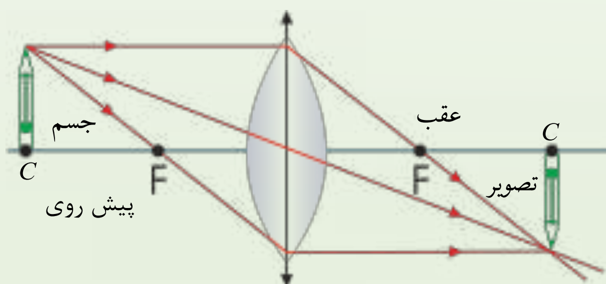

این تصویر حقیقی است.

2. اگر شی به مرکز انحنا نزدیک گردد، تصویر آن در طرف دیگر عدسیه بین محراق و مرکز انحنا، کوچکتر از اصل شی، سرچپه و به شکل حقیقی تشکیل می شود.

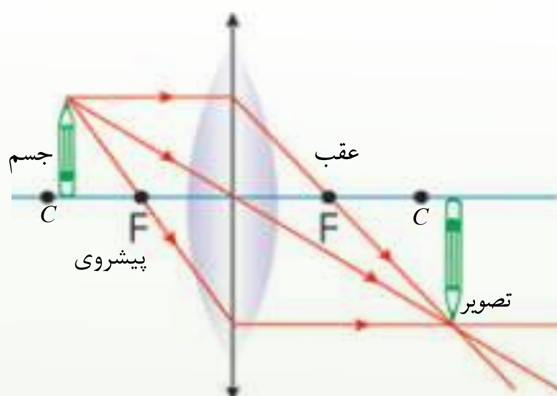



(5-9b)

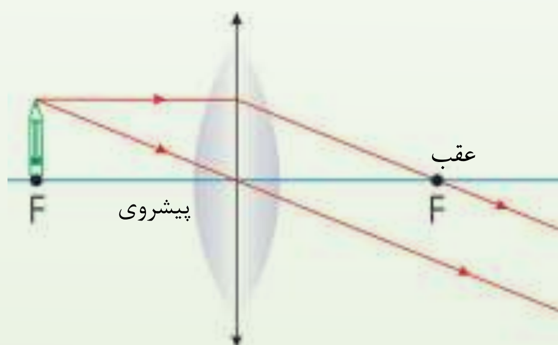
3. اگـــر شـــی در مرکز انحنا واقع گـــردد، تصویر آن بالای مرکـــز انحنای طرف دیگر عدسیه، مساوی به اصل شی، سرچپه و حقیقی تشکیل می گردد.



4. اگـــر شـــی بین مرکز انحنا و محراق قرار بگیرد، تصویـــر آن خارج از مرکز انحنای طرف دیگر عدسیه، بزرگتر از اصل شی، سرچپه و حقیقی تشکیل می شود.




5. اگر شـــی در محراق واقع باشـــد اشعۀ نوری وارده از شـــی بعد از عبور ازعدسیه با یکدیگر طور موازی انتشار می کنند و تصویر در بی نهایت تشکیل می گردد.

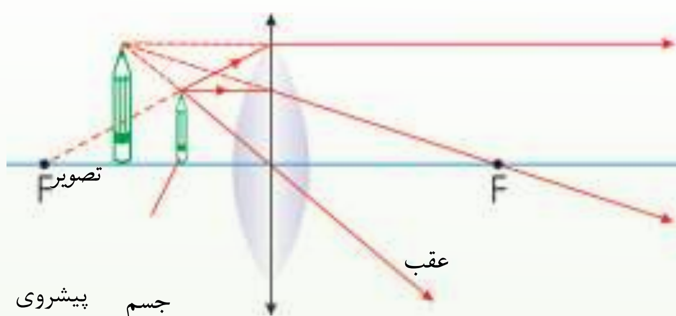



(5-9e)





6. اگر شی بین عدسیهٔ محدب و محراق آن واقع باشد، شعاع‌های نوری وارده بعد از عبور از عدســـیه از همدیگر دور می شـــوند. امتداد یافته شعاعات منکسره همدیگر را در پیش روی عدســـیه قطع نموده و تصویر تشکیل می‌شود. تصویر بزرگتر از اصل شی، سر راسته و مجازی است..



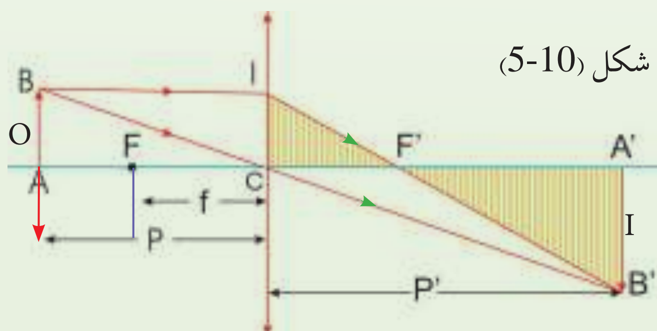

**سوال:**

آیا می‌توانید توســط عدســـیه‌های محدب‌الطرفین تصاویر حقیقی و مجازی اشیای حقیقی را تشکیل بدهید؟ این کار را با اجرای یک فعالیت انجام دهید.

## 5-4: معادلهٔ عدسیهٔ باریک و بزرگ‌نمایی

برای این‌که تصویر جسم AB را توسط عدسیهٔ باریک تشکیل بدهیم، از یک نقطهٔ جسم دو اشعه را بالای عدسیه طوری رسم می‌نماییم.

شکل (5-10)



فرض می‌نماییم که جســم $AB$ به فاصلهٔ $p$ از عدســیهٔ محدب‌الطرفین که دارای فاصلهٔ محراقی $f$ می‌باشــد، واقع است. عدسیهٔ متذکره تصویر این جسم ($A'B'$) را تشکیل می‌دهد که از عدسیه به فاصلهٔ $p'$ واقع می‌باشد.

از تشابه مثلث‌های $A'\overset{\Delta}{B'}C$ و $A\overset{\Delta}{B}C$ می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'C'}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} \Rightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'C'}}{\overline{AC}}$$

اگر طول جسم و تصویر را به ترتیب با $I$ , $O$ نشان دهیم، داریم که:

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{I}{O} \text{..............(1)}$$

از مقایسه دو رابطه فوق می توانیم بنویسیم که:

$$\frac{P'}{P} = \frac{I}{O}$$

هم‌چنان از تشابه مثلث‌های $A'\overset{\Delta}{B'}F'$ و $F'\overset{\Delta}{I}C$ می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{A'B'}{IC} = \frac{A'F'}{F'C}$$

با ملاحظه شکل می‌توانیم رابطهٔ فوق را قرار ذیل تعویض کنیم:

$$\frac{I}{O} = \frac{A'C - F'C}{F'C}$$

در رابطهٔ فوق عوض $F'C$ و $A'C$ قیمت‌های شان را وضع کرده، داریم که:

$$\frac{I}{O} = \frac{P' - f}{f} \text{..........(2)}$$

از مقایسهٔ معادلات (1) و (2) می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{P'}{P} = \frac{P' - f}{f}$$

یا:

$$P'f = pp' - pf .............(3)$$

از تقسیم اطراف معادلهٔ (3) بالای $fPP'$ حاصل می‌نماییم که:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f} .......(4)$$

اگر بزرگ‌نمایی عدسیه را توسط $\gamma$ نشان دهیم، پس ازمعادلهٔ (1) می‌توانیم بنویسیم که:

$$\gamma = \frac{I}{O} = \frac{P'}{P} .......(5)$$

معادلات 4 و 5 عبارت از معادلات عدسیهٔ محدب می‌باشد. در این نوع عدسیه، f همیشه مثبت؛ ولی $P', P$ در صورت مجازی بودن شی و تصویر، منفی می‌باشند.

## فورمول نیوتن:

در شـــکل (5-11) اگر X و 'X به ترتیب فواصل شـــی و تصویر از محراق‌های $F$ و $F'$ باشند، از تشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{ABF}$ و $F'\overset{\Delta}{C}I$ می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{I'C}{AB} = \frac{FC}{FA} \quad , \quad \frac{A'B'}{AB} = \frac{FC}{FA} \Rightarrow \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{I'C}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FC}}{\overline{FA}}$$

یا:

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{x} .........(1)$$





همچنان از متشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{A'B'F'}$ و $\overset{\Delta}{FCI}$ داریم که:

$$\frac{A'B'}{IC}=\frac{A'B'}{AB}=\frac{A'F'}{F'C}$$

و یا:

$$\frac{I}{O}=\frac{x'}{f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

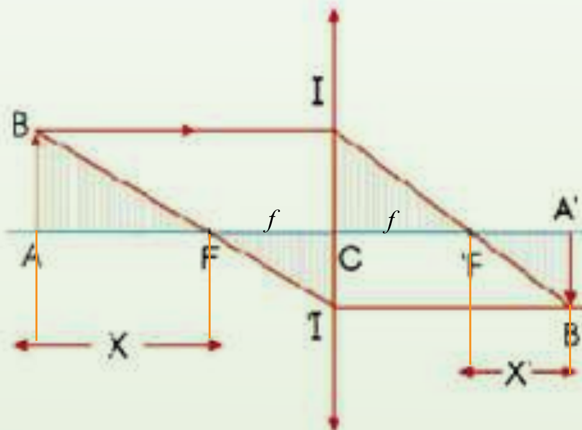
از مقایسهٔ معادلات (1) و (2) در یافت می‌نماییم که:

$$\frac{I}{O}=\frac{f}{x}=\frac{x'}{f}$$

و یا:

$$f^2 = xx' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

رابطهٔ (3) به‌نام فورمول نیوتن یاد می‌شود.




شکل (5-11)

**مثال:**

جســمی با طول 8 ســانتی متر به فاصلهٔ 30 سانتی متر از عدســیهٔ محدبی قرار دارد که فاصلهٔ محراقی آن 20 ســانتی متر است. فاصلهٔ تصویر را از عدسیه و طول تصویر را در یافت نمایید.

**حل:**

$$O = 8cm\,,\ f = 20cm\,, P = 30cm\,,\quad P' = ?\ ,\quad I = ?$$

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{P'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{P} = \frac{1}{20cm} - \frac{1}{30cm} = \frac{3-2}{60cm} = \frac{1}{60cm} \Rightarrow P' = 60cm$$

به همین ترتیب:

$$\frac{I}{O} = \frac{P'}{P} \Rightarrow I = \frac{O \times P'}{P} = \frac{8cm \times 60cm}{30cm} = 16cm \Rightarrow I = 16cm$$

**مثال:**

اگر فاصلهٔ جســم از محراق عدســیه 25 ســانتی متر و فاصلهٔ تصویر 4 سانتی متر باشد، فاصلهٔ محراقی را دریافت نمایید.

**حل:** چون $x' = 4cm$ و $x = 25cm$ است، پس:

$$f^2 = xx'$$

$$f^2 = 25cm \times 4cm$$

$$f^2 = 100cm^2$$

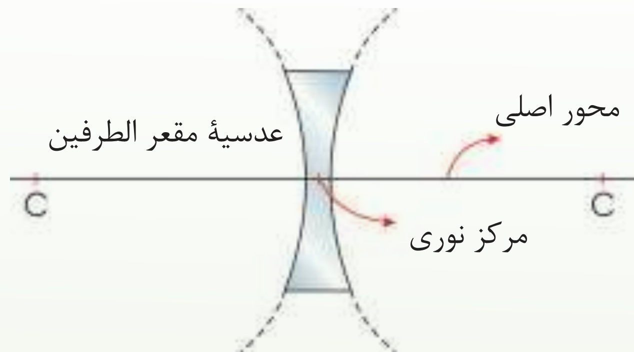
$$f = \sqrt{100cm^2} = 10cm$$





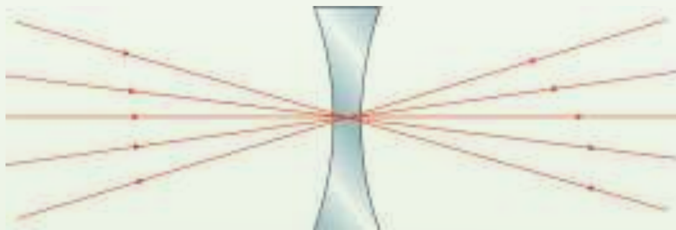
## 5-5: **خصوصیات عدسیه‌های مقعر**

1. **محوراصلی، مرکز نوری:** محور اصلی عدســیه‌های مقعر خطی است که سطوح مرکز کروی عدســیه را باهم وصل می‌نماید. نقطهٔ مرکز عدســیه که بالای محور اصلی واقع است، به‌نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود. در شکل (5-12) محور اصلی و مرکز نوری عدسیه نشان داده شده است.



شکل(5-12)

در عدسیه‌های مقعر نیز اشعه‌یی که بالای مرکز نوری عدسیه وارد می‌شود، بدون انحراف از عدسیه خارج می‌گردد، شکل (5-13).

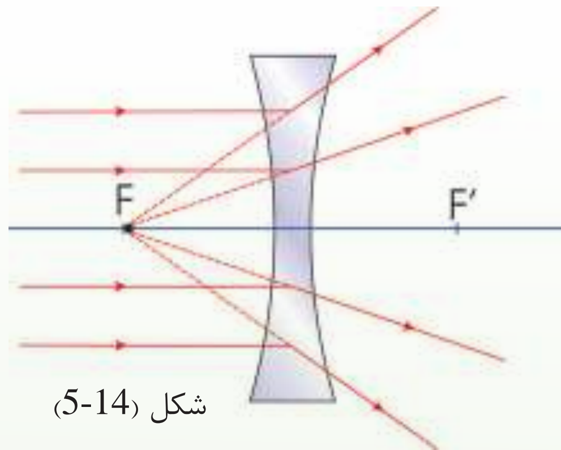

شکل (5-13)

2. **محراق عدسیه‌های مقعر:** اگر شعاع‌های نوری موازی با محور اصلی بالای عدسیهٔ مقعر وارد گردد، بعد از انکســار و عبور از عدســیه طوری از یکدیگر دور می‌شــوند که امتداد شان در عقب از یک نقطه بالای محور اصلی می‌گذرد. این نقطه را به‌نام محراق عدسیهٔ مقعر یاد می‌نمایند. فاصله بین محراق و مرکز نوری را به نام فاصلهٔ محراقی یاد کرده و آن‌را توســط f نشان می‌دهند.



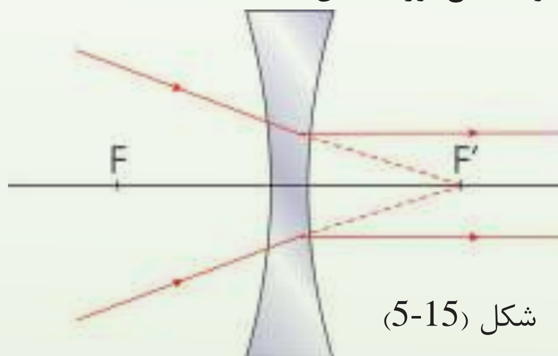


در شکل (5-14) شعاع نوری وارده موازی با محور اصلی و شعاع منکسرهٔ مربوط آن نشان داده شده است. در عدسیه‌های مقعر، محراق مجازی می‌باشد.



شکل (5-14)

اگر شـــعاع نوری بالای عدسیهٔ مقعری طوری وارد گردد که بعد از عبور از عدسیه امتداد شـــان از محراق عبور نمایند، در آن صورت شـــعاع منکسره با محور اصلی موازی خواهد بود. در شکل (5-15) این گونه شعاع نوری نشان داده شده است.



شکل (5-15)

**فعالیت**

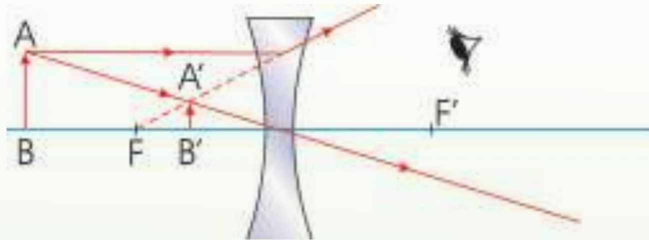
با استفاده از دروس گذشته و بعد از مشوره بین هم تجربه‌یی را طرح نمایید که به کمک آن بتوانید محراق عدسیهٔ مقعر را تعیین نمایید.





## تصویر در عدسیه‌های مقعر

در این نوع عدسیه‌ها نیز تصویر یک شی عمود بالای محور اصلی عدسیه را توسط ترسیم تصویر یک نقطهٔ آن دریافت می‌نماییم. دو شعاع از یک نقطهٔ معین شی عمود را در نظر می‌گیریم. یک شعاع موازی با محور اصلی به عدسیه تابیده طوری منکسر می گردد که امتداد یافتهٔ آن از محراق عدسیه عبور می کند. شعاع دیگر از مرکز نوری عدسیه گذشته و امتداد یافتهٔ شعاع منکسرهٔ اولی را در یک نقطه (A') قطع می کند، شکل (5-16).




شکل(5-16) تصویر در عدسیه مقعر

اگر در این عدسیه از استقامت اشعهٔ منکسره دیده شود، شی $AB$ در موقعیت $A'B'$ مشاهده می‌گردد. این تصویر مجازی است. یک شی به هر فاصله‌یی که در مقابل عدسیهٔ مقعر گذاشته شود، تصویر آن همیشه نسبت به اصل شی کوچک، مجازی و مستقیم می‌باشد و در فاصلهٔ کوچکتر از فاصلهٔ محراقی مشاهده می‌شود.

## 5-6: فورمول عدسیه‌های مقعر

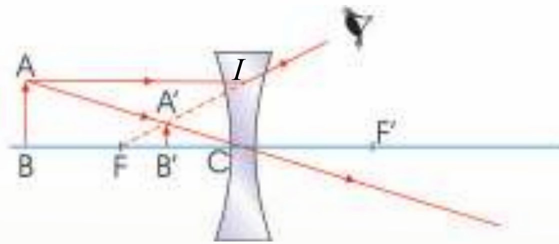
برای در یافت فورمول عدسیهٔ مقعر، شکل (5-17) را که در عدسیهٔ مقعر تصویر شی AB را نشان می‌دهد در نظر می‌گیریم.

در شکل(5-17) از تشابه مثلث‌های $A'\overset{\Delta}{B'}C$ و $A\overset{\Delta}{B}C$ می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'C}{BC}$$

یا:

$$\frac{I}{O} = \frac{P'}{P} \quad \text{.................} (1)$$




شکل(5-17)

هم‌چنان از تشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{ICF}$ و $\overset{\Delta}{A'FB'}$ داریم که:

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{IC}}=\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\frac{\overline{B'F}}{\overline{FC}}$$

یا:

$$\frac{I}{O}=\frac{f-P'}{f}\text{...............}(2)$$

از مقایسهٔ معادلات (1) و (2) در یافت می‌نماییم که :

$$\frac{f-p'}{f}=\frac{P'}{P}\text{.............}(3)$$

بعد از اجرای عملیه‌های لازم حاصل می‌نماییم که:

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{P'}=-\frac{1}{f}$$





**نکات ذیل را باید همیشه در نظر داشته باشیم:**

1. اگر عدسیه محدب باشد، فاصلهٔ محراقی مثبت است.
2. اگر عدسیه مقعر باشد، فاصلهٔ محراقی منفی می‌باشد.
3. P و 'P در صورت مجازی بودن، منفی می‌باشند.

هم‌چنان بزرگ‌نمایی عدسیه از رابطهٔ $\gamma = \frac{I}{O} = \frac{P'}{P}$ حاصل می‌گردد.

## مثال

جسمی‌در مقابل عدسیهٔ مقعری که دارای شعاع انحنای 24 سانتی متر است به فاصلهٔ 6 سانتی متری واقع است. فاصلهٔ تصویر را از عدسیه دریافت نمایید.

**حل:** چون شعاع انحنا $R = 24cm$ است، پس $f = \frac{R}{2} = \frac{24}{2} = 12cm$ می‌باشد؛ هم‌چنان $P = 6cm$ است؛ بنابراین با استفاده از فورمول داریم که:

$$f = \frac{R}{2} = 12cm \qquad P = 6cm \qquad P' = ?$$

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = -\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{6cm} + \frac{1}{P'} = -\frac{1}{12cm}$$

$$\frac{1}{P'} = -\frac{1}{12cm} - \frac{1}{6cm} = \frac{-1-2}{12cm} = -\frac{3}{12cm} - \frac{1}{4cm}$$

$$P' = -4cm$$

علامت منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.





## مثال

شـــی مجازی که دارای طول 10cm ســـانتی متر است به فاصلهٔ 20 سانتی متر از عدسیهٔ مقعری قرار دارد که دارای فاصلهٔ محراقی 30cm ســـانتی متر می‌باشـــد. نوع تصویر را معلوم نمایید.

**حل:** چون عدســـیه مقعر و شـــی مجازی است. پس فاصلهٔ شـــی و فاصلهٔ محراقی هر دو منفی می‌باشند، یعنی:

$$-\frac{1}{20cm}+\frac{1}{P'}=-\frac{1}{30cm}$$

$$\frac{1}{P'}=-\frac{1}{30cm}+\frac{1}{20cm}$$

$$\frac{1}{P'}=\frac{-2+3}{60cm}$$

$$\frac{1}{P'}=\frac{1}{60cm}$$

$$P'=60\ cm$$

$$\gamma=\frac{I}{O}=\frac{P'}{P}=\frac{60}{30}=2$$

### رابطه بین فاصلهٔ شی و تصویر نسبت به سطح انکسار کننده

با اســـتفاده از شکل (5-18) رابطه بین فاصلهٔ شی و تصویر را نسبت به یک سطح انکسار کننده که عبارت از $\frac{n_1}{p}+\frac{n_2}{q}=\frac{n_2-n_1}{R}$ است، دریافت می‌نماییم.

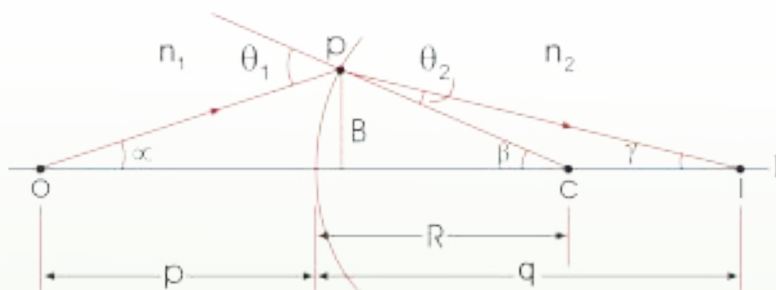
برای حل مســـأله دو محیط شفاف را در نظر می‌گیریم که دارای ضرایب انکسار $n_1$ و $n_2$ باشـــند. درحالی‌که سطح جدا کننده بین دو محیط، یک سطح کروی با شعاع R باشد، شکل (5-18). در شکل دیده می‌شود که یک شعاع از نقطهٔ O منشأ گرفته و توسط سطح کروی





در نقطهٔ P انکسار می‌نماید. برای این اشعه از تطبیق قانون انکسار سنل حاصل می‌شود که:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$




شکل (18-5) تشکیل تصویر توسط سطح انکسار کننده

چون $\theta_1$ و $\theta_2$ خیلی کوچک فرض شده است، پس با استفاده ازتعریف زاویهٔ کوچک می‌توانیم بنویسیم که: $n_1\theta_1 = n_2\theta_2$

از حقیقتی استفاده می‌نماییم که بیان می‌کند: زاویهٔ خارجی هر مثلث مساوی به مجموع دو زاویهٔ داخلی غیر مجاور آن مثلث است. با تطبیق این قاعده در مثلث‌های $\overset{\Delta}{OPC}$ و $\overset{\Delta}{PIC}$ حاصل می‌نماییم که:

$$\theta_1 = \alpha + \beta$$

$$\beta = \theta_2 + \gamma \Rightarrow \theta_2 = \beta - \gamma$$

اگر قیمت‌های $\theta_1$ و $\theta_2$ در معادلهٔ $n_1\theta_1 = n_2\theta_2$ وضع گردد، دریافت می‌نماییم که:

$$n_1(\alpha + \beta) = n_2(\beta - \gamma)$$

ویا

$$n_1\,\alpha + n_2\,\gamma = (n_2 - n_1)\,\beta$$

از شکل می‌توانیم بنویسیم که:

$$tg\alpha \approx \alpha \approx \frac{d}{p}$$

$$tg\beta \approx \beta \approx \frac{d}{R}$$

$$tg\gamma \approx \gamma \approx \frac{d}{q}$$

با وضع کردن قیمت‌های $\alpha$، $\beta$ و $\gamma$ در معادلهٔ اخیر و تقسیم آن بالای d حاصل می‌نماییم که:

$$\frac{n_1}{P} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

این افاده رابطه بین فاصله‌های شی و تصویر را نسبت به یک سطح انکسار کننده نشان می‌دهد.

## 5-7: معادلۀ ساختن عدسیه

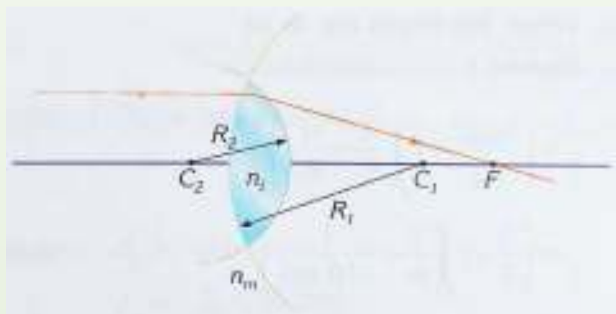
قبلاً ذکرگردید که از عدسیه‌ها در ساختن آلات اپتیکی استفاده می‌شود پس باید بدانیم که عدسیه چگونه ساخته می‌شود؟ برای تشکیل تصویر یک شی، باید نور شی از یک طرف بالای عدسیه بتابد و از طرف مقابل آن خارج گردد. چون عدسیه یک محیط شفاف است، شعاع نوری در وقت عبور از عدسیه در دو سطح انکسار را متحمل می‌شود. در این حالت تصویر تشکیل شده توسط یک سطح انکسار دهنده، برای سطح دیگر حیثیت شی را دارد.

فاصلۀ محراقی یک عدسیۀ باریک در محیطی با ضریب انکسار $n_1$ به شعاع‌های انحنای سطح پیش روی و عقب عدسیه و ضریب انکسار ماده عدسیه ( $n_2$) مربوط است. معادله‌یی که کمیت‌های فوق را به همدیگر مرتبط می‌سازد به نام معادلۀ ساختن عدسیه یاد می شود:

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_2}{n_1}-1\right)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

تمامی پارامتر های معادلۀ فوق در شکل (۱۹-۴) نشان داده شده است.

برای سطح کروی محدب علامت $R_1$ و $R_2$ مثبت، سطح کروی مقعر $R_1$ و $R_2$ منفی و برای سطح مستوی $R=\alpha$ است.




شکل (5-19)

مثال اول: فاصلۀ محراقی یک عدسیه محدب الطرفین را دریافت کنید که ضریب انکسار آن 1.5 بوده و شعاع‌های انحنای آن $R_1=10cm$ و $R_2=30cm$ باشد. عدسیه در هوا قرار دارد.

$n_1 = 1$

$n_2 = 1.5$

$R_1 = 10cm$

$R_2 = 30cm$

$f = ?$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1.5}{1} - 1\right)\left(\frac{1}{10cm} + \frac{1}{30cm}\right)$$

$$= (0.5)\left(\frac{4}{30cm}\right) = \frac{1}{15cm}$$

$$\Rightarrow f = 15cm$$

مثال دوم: عدسیهٔ محدب المقعر که از شیشه با ضریب انکسار 1.5 ساخته شده است به ترتیب دارای شــعاع‌های انحنای $R_1 = 12cm$ و $R_2 = 18cm$ اســت، محراق این عدسیه را در داخل آب با ضریب انکسار 1.3 دریابید.

$n_1 = 1.3$

$n_2 = 1.5$

$R_1 = 12cm$

$R_2 = 18cm$

$f = ?$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1.5}{1.3} - 1\right)\left(\frac{1}{12cm} - \frac{1}{18cm}\right)$$

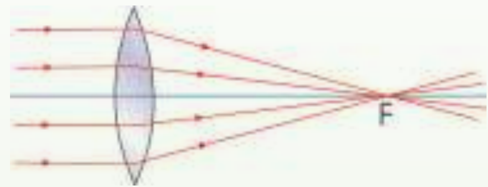
$$= (0.15)\left(\frac{1}{36cm}\right)$$

$$\Rightarrow f = 240cm$$

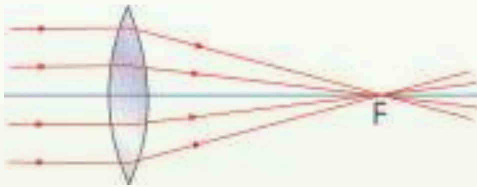
## 5-8: **قدرت عدسیه‌ها**

در اشـــکال (5-20 الف و ب ) دو عدســـیهٔ محدب الطرفین که دارای فاصله‌های محراقی مختلف می‌باشـــد نشـــان داده شده است. دســـتهٔ شـــعاع نوری موازی با محورهای اصلی دو عدســـیه بالای عدســـیه‌ها وارد گردیده اســـت و عدسیه‌ها شـــعاع‌های نوری را با هم نزدیک می‌نمایند. قدرت کدام یک از این دو عدسیه در نزدیک ساختن شعاع نوری بیشتر است؟

طوری‌که از اشـــکال دیده می‌شود، عدسیه‌یی که دارای فاصلهٔ محراقی کوچکتر است، در متقارب ســـاختن (نزدیک کردن) شـــعاع نوری قدرت بزرگتر را دارد، یعنی قدرت عدسیه در متقارب ساختن معکوساً متناسب به فاصلهٔ محراقی می‌باشد.




الف) عدسیه با داشتن فاصلهٔ محراقی کوچکتر دارای قدرت بزرگ در نزدیک کردن شعاع نوری می‌باشد.

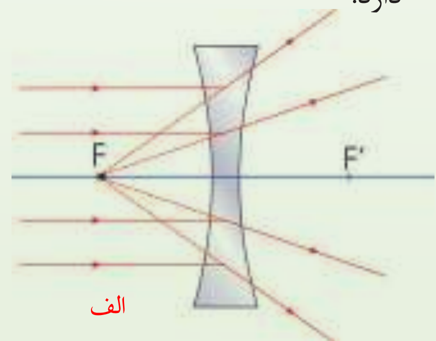



ب) عدسیه که دارای فاصلهٔ محراقی بزرگتر است دارای قدرت کوچکتر نزدیک کردن شعاع نوری می‌باشد.

شکل (5-20)

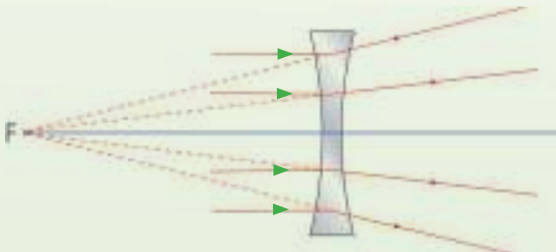
همچنان در اشـــکال (5-21الف و ب) دو عدسیهٔ مقعر با فاصله‌های محراقی مختلف نشان داده شده اند. یک دسته اشعهٔ نوری موازی با محورهای اصلی عدسیه‌ها بالای عدسیه‌ها وارد گردیده اند که عدسیه‌ها این شعاع نوری را از یکدیگر دور(متباعد) می‌نمایند.

در این جا نیز دیده می‌شـــود که قدرت عدســـیه با فاصلهٔ محراقی عدســـیه رابطهٔ معکوس دارد.




الف

عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی کوچکتر اســـت در دورکردن شعاع نوری قدرت بزرگتر رادارد.




ب

عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی بزرگتر اســـت در دورکردن شعاع نوری قدرت کوچکتر را دارد.

شکل(5-21)





معکوس فاصلهٔ محراقی، یعنی( $\frac{1}{f}$ ) را قدرت عدســیه می‌گویند و آن را توســط D نشان می‌دهند، یعنی:

$$D = \frac{1}{f}$$

هر گاه فاصلهٔ محراقی به متر اندازه شود، واحد قدرت عدسیه معکوس متر ( $\frac{1}{m}$ )می‌باشد، که به نام دیوپتر یاد می‌شــود و آن را توســط d نشــان می‌دهند. گفتنی اســت که قدرت عدسیه‌های محدب، مثبت و قدرت عدسیه‌های مقعر، منفی می‌باشد.

## 5-9: ترکیب عدسیه‌های باریک

برای تشکیل یک تصویر از دو عدسیه استفاده می‌نماییم. این موضوع را طور ذیل توضیح می‌کنیم:

نخست تصویر عدســیهٔ اول طوری محاسبه می‌گردد که گویا عدسیهٔ دوم موجود نباشد. (نور برای عدســیهٔ دومی‌طوری می‌رسد که گویا از تصویر تشکیل شده آمده است) بنابر این تصویر تشکیل شده توسط عدسیهٔ اولی برای عدسیهٔ دومی‌مانند شی عمل می‌کند. تصویری که توسط عدسیهٔ دومی‌تشکیل می‌شود عبارت ازتصویر نهایی سیستم می‌باشد. بزرگ‌نمایی مجموعی سیســتم عدسیه‌ها مساوی به حاصل ضرب بزرگ‌نمایی هر کدام ازعدسیه‌ها است. اگر تصویر تشــکیل شده توســط عدسیهٔ اولی در عقب عدســیهٔ دومی‌قرار داشته باشد، این تصویر برای عدسیهٔ دومی‌حیثیت شی مجازی را دارد (یعنی در این حالت p منفی است). به عین ترتیب یک سیستم سه یا بیشتر عدسیه‌ها را تشکیل داده می‌توانیم.



**فعالیت**

هدف: محاسبهٔ فاصلهٔ محراقی یک عدسیه

مواد مورد ضرورت

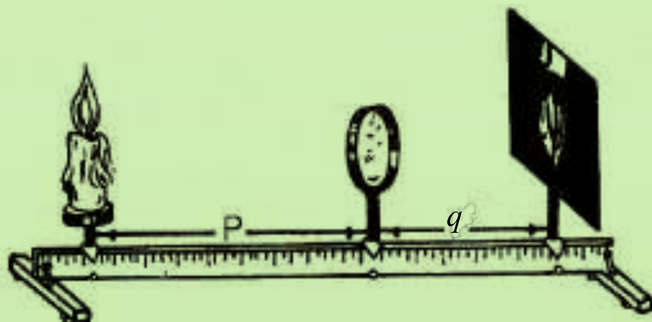
شمع، گوگرد، پرده، پایه‌های لغزنده و خط کش





## طرزالعمل

شمع، پرده و عدسیه را مطابق شکل (5-22) بالای خط کشی که روی میز قرار دارد طور عمودی بگذارید. شـــمع را روشـــن نمایید و پرده را تا زمانی تغییر مکان دهید که بالای پرده تصویر واضح شـــمع تشـــکیل گردد. در این حالت دیده می‌شود که تصویر نیز بالای محور اصلی عمود می‌باشد. حال فاصلهٔ شمع (شی) و پرده (تصویر) را از خط کش بخوانید و در فورمول $\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ آن‌را وضع نمایید.




شکل (5-22)

### 5-10: **تطبیقات**

1. یک شی را در مقابل عدسیهٔ محدبی که دارای فاصلهٔ محراقی $8cm$ است یک مرتبه بـــه فاصلهٔ $12cm$ و مرتبهٔ دیگر به فاصلهٔ $4cm$ قرار دهیـــد. در هر حالت موقعیت تصویر و چگونه‌گی آن‌را در یافت نمایید. برای هر دو حالت شکل آن‌را ترسیم نمایید.

### برای حالت اول

$P = 12cm \ , \ q = ? \ , \ f = 8cm$

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} , \frac{1}{12cm}+\frac{1}{q}=\frac{1}{8cm} , \frac{1}{q}=\frac{1}{8cm}-\frac{1}{12cm}=\frac{3-2}{24cm}\Rightarrow\frac{1}{q}=\frac{1}{24cm}$$

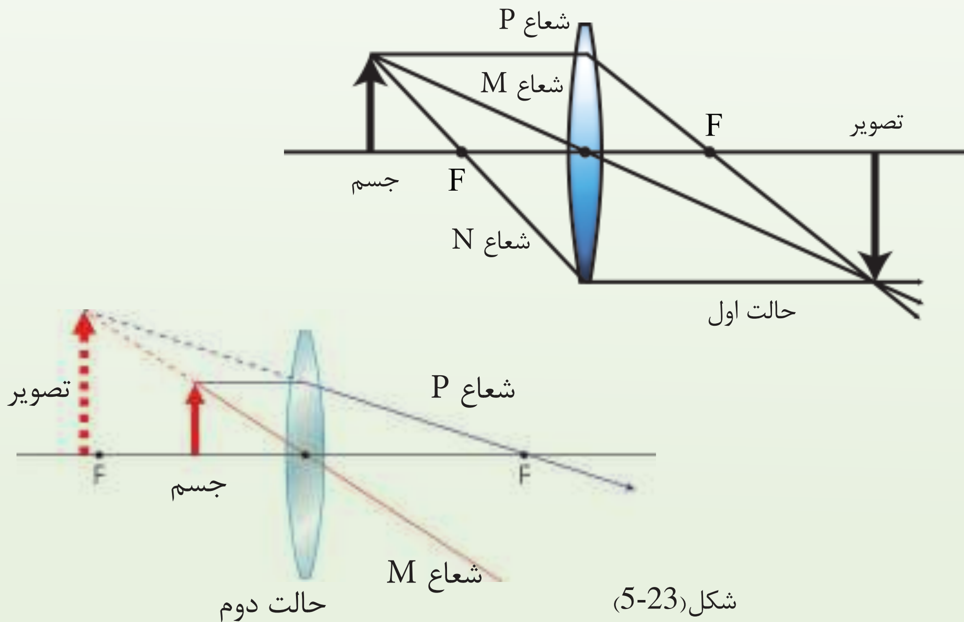
پس فاصلهٔ تصویر از عدسـیه $q = 24cm$ و چون q مثبت است؛ بنابراین تصویر حقیقی می‌باشد.

### برای حالت دوم

$P = 4\ Cm \ , \ f = 8Cm : q = ?$

$$\frac{1}{4cm}+\frac{1}{q}=\frac{1}{8cm} , \frac{1}{q}=\frac{1}{8cm}-\frac{1}{4cm}=\frac{1-2}{8cm}=-\frac{1}{8cm}$$

فاصلهٔ تصویر از عدسـیه: $q=-8cm$، چون در این حالت q منفی است؛ بنابرین تصویر مجازی می‌باشد.




شکل(5-23)

2. اگر یک شی در مقابل عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی $6cm$ است به فاصلهٔ $18cm$ قرار داشته باشد، فاصلهٔ تصویر از عدسیه را دریافت نمایید.

**حل:** چون عدسیه مقعر است؛ پس فاصلهٔ محراقی آن منفی می‌باشد.

$$P = 18\ Cm,\quad f = 6Cm,\quad q = ?$$

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f},\quad \frac{1}{18cm}+\frac{1}{q}=-\frac{1}{6cm},\quad \frac{1}{q}=-\frac{1}{6cm}-\frac{1}{18cm}=\frac{-3-1}{18cm}$$

فاصلـهٔ تصویر از عدسـیه: $\frac{1}{q}=-\frac{4}{18cm}\Rightarrow q=-\frac{18cm}{4}=-4.5Cm$، علامت منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.

3. اگر شـی مجازی با طول $10cm$ از عدسـیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی $8cm$ است. به فاصلهٔ $20cm$ واقع باشد، چگونه‌گی تصویر را مشخص نمایید.

**حل:** چون شـی مجازی و عدسـیه مقعر است، پس فاصلهٔ شـی و فاصلهٔ محراقی هر دو منفی در نظر گرفته می‌شوند، یعنی:

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f},\ -\frac{1}{20cm}+\frac{1}{q}=-\frac{1}{30cm}$$

$$\frac{1}{q}=-\frac{1}{30cm}+\frac{1}{20cm}=\frac{-2+3}{60cm}=\frac{1}{60cm}\Rightarrow q=60\,Cm$$

چون q مثبت است؛ پس تصویر حقیقی می‌باشد.

هم چنان $$\gamma=\frac{I}{O}=\frac{q}{P}=\frac{60cm}{20cm}=3$$

چون $\frac{I}{O}=3$ است، پس $I=30cm$ می‌شود.





4 - می خواهیم با اســتفاده از یک عدســیهٔ محدب، ازشــیِ‌یی که دارای طول $0.5cm$ اســت، تصویر مجازی به طول $2cm$ تشــکیل بدهیم در صورتی که فاصلهٔ شــی از عدسیه $6cm$ باشد، فاصلهٔ تصویر را از عدسیه و فاصلهٔ محراقی عدسیه را محاسبه نمایید.

**حل:** $P = 6cm$ ,   $AB = 0.5cm$ ,   $A'B' = 2cm$ ,   $q = ?$ ,   $f = ?$

$$\frac{A'B'}{AB} = \left|\frac{q}{P}\right|, \quad \frac{2cm}{0.5cm} = \left|\frac{q}{6cm}\right|, \quad 0.5\,q = 12cm$$

$$q = \frac{12cm}{0.5} = 24cm$$ فاصلهٔ تصویر از عدسیه

چون تصویر مجازی است، پس q قیمت منفی دارد. برای دریافت فاصلهٔ محراقی:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{6cm} - \frac{1}{24cm} = \frac{1}{f}, \quad \frac{4-1}{24cm} = \frac{1}{f}, \quad \frac{3}{24cm} = \frac{1}{f}$$

$$3f = 24cm, \quad f = \frac{24cm}{3}$$

فاصلهٔ محراقی عدسیه $f = 8cm$ است.

## آلات اپتیکی نوری

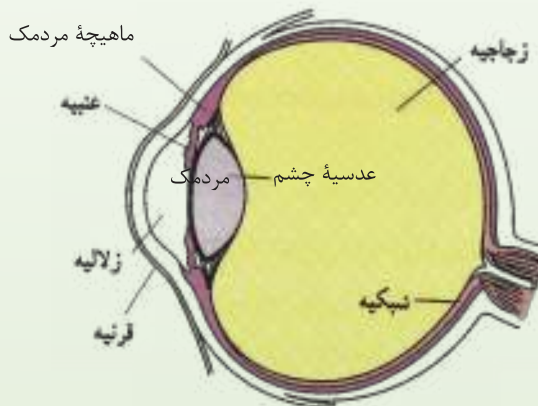
### چشم انسان

بینایی بیشــتر از حواس دیگر ما را با جهان اطراف مرتبط می کند. وقتی جســمی را می بینیم، چشم ما تصویر حقیقی، کوچک و سرچپهٔ جسم را به کمک عدسیه محدب خود بالای شبکیه تشکیل می‌دهد. شبکیه عبارت ازیک صفحهٔ حساس در مقابل نور است. چشم تقریباً شکل کروی دارد که توسط یک پردهٔ نسبتاً سخت محا فظت می‌گردد. این پرده به‌نام صلبیه یاد می‌شــود. قسمت پیش روی صلبیه شفاف است و به‌نام قرنیه یاد می‌شود، شکل(4-24). زمانی‌که نور داخل چشم می‌گردد، انکسار اول در قرنیه صورت می‌گیرد. ضریب انکسار قرنیه





1.376 می‌باشد. در عقب قرنیه مایع شفافی و جود دارد که به‌نام زلالیه یاد می‌شود و ضریب انکسار آن 1.336 است. چون بین ضرایب انکسار زلالیه و قرنیه تفاوت بزرگی وجود ندارد، بنابراین درسر حد مشترک زلالیه و قرنیه انکسار چندانی رخ نمی‌دهد. مردمک چشم عبارت از یک کلکینچه‌یی است که بر اثر تغییر قطر آن، نور عبوری کنترول می‌گردد. در این عمل قطر مردمک چشم از 2 الی 8 ملی متر تغییر می‌نماید. در عقب مردمک، عدسیهٔ چشم واقع است. عدسیهٔ چشم دارای ساختمان شفاف محدب الطرفین می‌باشد. ضریب انکسار عدسیه تقریباً 1.437 است. بنابرین بعد از انکسار نور در قرنیه، عدسیهٔ چشم تصویر حقیقی، معکوس و کوچک بالای شبکیه تشکیل می‌دهد. عدسیهٔ چشم توسط یک نوع عضلات مخصوص محافظت می‌گردد. همین عضلات ضخامت عدسیه را تغییر می‌دهند. زمانی‌که این عضلات در حالت استراحت باشند، عدسیه دارای بیشترین فاصلهٔ محراقی می‌باشد و تصویر اشیای دور را بالای شبکیه تشکیل می‌دهد، مگر برای دیدن اشیای نزدیک، این عضلات منقبض می‌شوند و ضخامت عدسیه را بیشتر می‌سازند و درنتیجه فاصلهٔ محراقی عدسیه کاهش می‌یابد و تصویر بالای شبکیه تشکیل می‌شود. تغییر فاصلهٔ محراقی به خاطر تشکیل تصویر واضح اجسام دور یا نزدیک بالای شبکیه را تطابق چشم می‌گویند.




شکل (5-24) تصویر چشم انسان

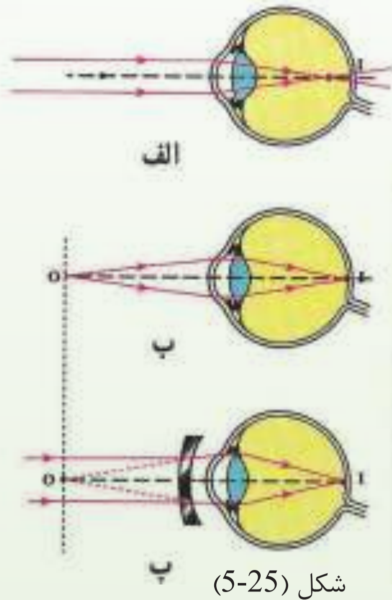
## فاصلهٔ دور و نزدیک دید

چشـــمان ســـالم می‌توانند از فاصلهٔ 25 ســـانتی متر الی فواصل خیلی دور عمل تطابق را انجـــام دهند. در جوانان این فاصله از 25 ســـانتی متر کمتر اســـت که با تزاید ســـن بزرگتر می‌شود، به صورت عموم قدرت تطابق چشمان با تزاید سن محدود می‌گردد.

نزدیک ترین فاصلهٔ دید عبارت ازهمان فاصلهٔ کوتاهی اســـت که چشـــم بتواند جسمی را بدون عمل تطابق به طور واضح ببیند. دورترین فاصلهٔ دید عبارت از همان فاصله‌یی است که چشم بتواند جسمی را بدون تطابق چشم به‌صورت واضح ببیند.

## عیوب چشم

**چشـــم نزدیک بین:** چشـــم نزدیک بین تنها اشیای نزدیک را به‌صـــورت واضح می‌بینند. تصویر اشـــیای دور در پیش روی شبکیهٔ آن تشـــکیل می‌گردد، شکل(25-5 الف). برای اصلاح این چشم از عدســـیهٔ مقعر به حیث عینک استفاده می‌گردد. عدســـیهٔ مقعر سبب می‌شـــود که تصویر بالای شبکیه تشکیل گـــردد؛ مانند شـــکل (25-5 ب). این نوع عیـــوب معمولاً در جوانان دیده می‌شود.



شکل (25-5)

الف: تشکیل تصویر در پیشروی شبکیه.

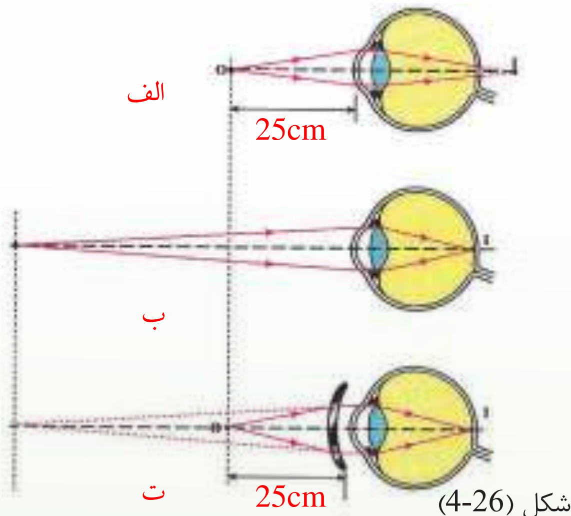
ب: تشکیل تصویر بالای شبکیه.

**چشم دوربین:** چشم دور بین تنها اجسام دور را به صورت واضح می‌بینند. تصویر اشـــیای نزدیک در عقب شبکیهٔ این نوع چشم تشـــکیل می‌شود، شـــکل (26-5 الف). عدسیهٔ این نوع چشـــم‌ها همیشه در حالت کش شده می‌باشد که این خود یک فشار بالای چشم می‌باشد. چشمان بزرگ‌سالان بیشتر این نوع عیب را داشته می‌باشند. برای از بین بردن این نوع عیب، از عدسیهٔ محدب استفاده می‌نمایند، تا این‌که اشعه را در پیش روی جمع و تصویر را بالای شبکیه تشکیل د هد شکل(26-5 ب).

## دوربین عکاسی

دوربیـــن عکاســـی آلهٔ اپتیکی اســـت که به کمک عدســـیهٔ محدب تصویری کوچک، ســـرچپه و حقیقی یک شـــی را می ســـازد، شکل (4-26).

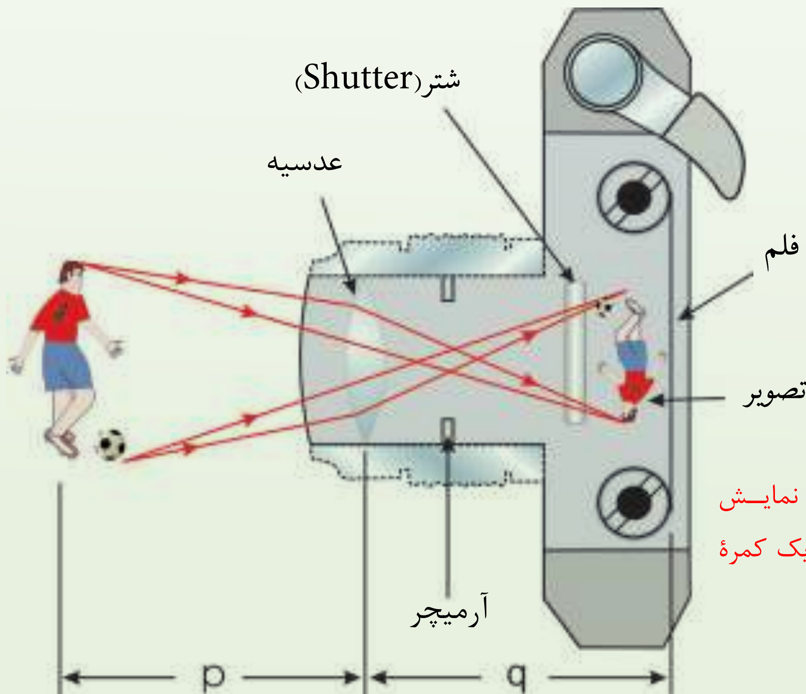
دوربین عکاســـی متشـــکل از یک حجرهٔ بســـته، عدســـیهٔ محدبی که تصویر حقیقی را تشـــکیل می‌دهد و فلمی‌در عقب عدسیه، غـــرض گرفتـــن تصویر می‌باشـــد. شـــخص دوربین عکاســـی را بـــا تغییـــر دادن فاصله بین عدســـیه و فلم تنظیم می‌نماید. تنظیم کـــردن مناســـب دوربین عکاســـی که برای تولید تصویرهای واضح ضروری اســـت تابع فاصلهٔ عدســـیه الی فلم، فاصلهٔ شی و فاصلهٔ محراقی عدسیه می‌باشد.




شکل (4-26)

الف: تشکیل تصویر در عقب عدسیه.

ب: تشکیل تصویر بالای شبکیه.




شـــکل (5-27) نمایـــش مقطع عرضی یک کمرهٔ ساده.

دریچه‌یی که درعقب عدسـیه واقع می‌باشد، به نام دیافراگم یا Shtter یاد شده و برای انتخـاب وقفهٔ زمانی باز می‌گردد. یک شـخص می‌تواند از جسـم‌های متحرک به وقفه‌های کوچک زمانی و یا مناظر سایه و کم نور با استفاده از این دریچه عکاسی نماید.

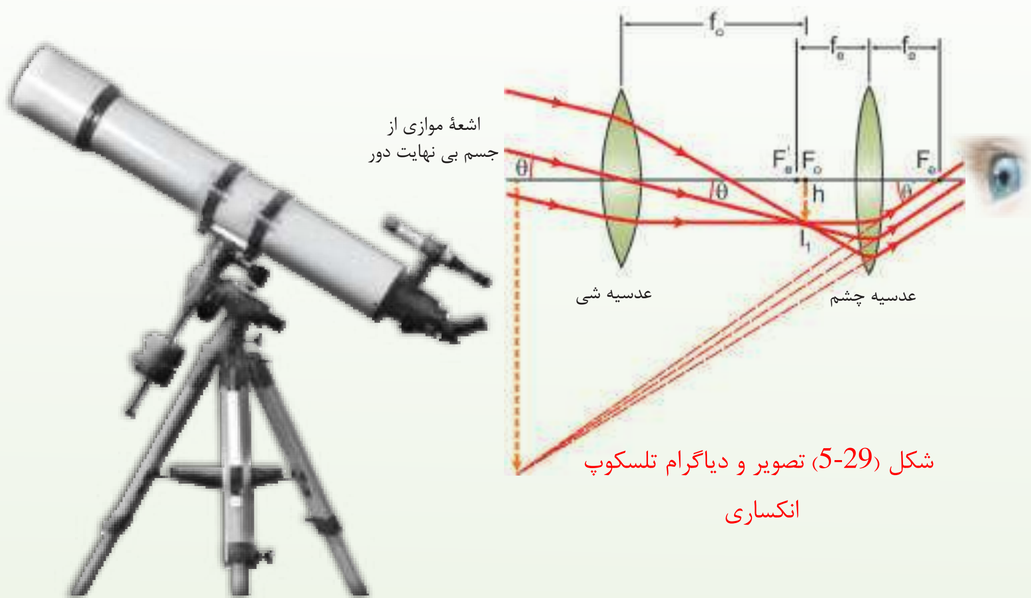
سرعت‌های معمولی دریچه، $(\frac{1}{30})s, (\frac{1}{60})s, (\frac{1}{125})s$ و $(\frac{1}{250})s$ می‌باشد.

**ذره بین:** اگر یک شـی در فاصلهٔ محراقی عدسـیه قرار گیرد، شعاع‌های نوری متقارب نشـده بلکه طوری معلوم می شـود که از یک موقعیت در عقب عدسیه وارد شده اند. تصویر در این حالت سـر راسـته و بزرگتر از اصلی شی است. این تصویر مجازی است زیرا از تقاطع امتداد یافته شـعاع‌های منکسره تشکیل می شود، شـکل (5-28) این چنین عدسیه را ذره بین می گویند.




شکل (5-28)

**تلسکوپ:** اساساً تلسکوپ‌ها به دو نوع اند. هر دو نوع آن برای مشاهدهٔ اشیای دور؛ مانند ستاره‌های نظام شمسی به‌کار برده می‌شوند. در یک نوع آن از عدسیه‌ها استفاد می‌شود و به اساس انکسار فعالیت می‌نمایند، در نوع دیگر آن آیینه‌های کروی به‌کار برده می‌شوند و به اساس انعکاس کار می‌کنند. تلسکوپی که از عدسیه‌ها ساخته شده است در شکل (5-29) نشان دادشده است.




شکل (5-29) تصویر و دیاگرام تلسکوپ انکساری

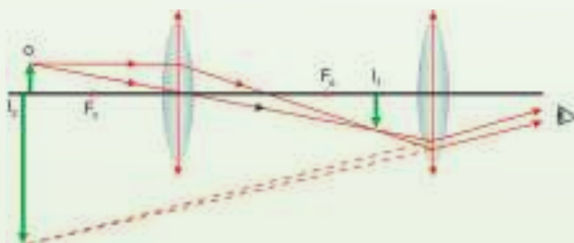
این تلسکوپ دو عدسیه دارد. عدسیه‌یی که به طرف شی واقع است به‌نام عدسیهٔ شی(Objective) و عدسیه‌یی که به طرف چشم واقع است به‌نام عدسیهٔ چشم (Eyepiece) یاد می‌شود. این دو عدسیه طوری تنظیم می‌گردد که عدسیهٔ شی از یک شی دور، تصویر حقیقی و معکوس را در نزدیک محراق عدسیهٔ چشم تشکیل بدهد. چون شی اصلاً در فاصلهٔ خیلی دور قرار دارد؛ بنابراین نقطه‌یی که در آن تصویر $I_1$ تشکیل می‌شود، عبارت از محراق عدسیهٔ شی می‌باشد. بعد عدسیه چشم از تصویر $I_1$ تصویر دیگر بزرگ و معکوس را تشکیل می‌دهد که از فاصلهٔ محراقی عدسیهٔ چشم مشاهده می‌شود.

**پرسش‌ها**

- درکلنیک‌های تشخیصیه، ملاریا توسط کدام آله تشخیص می‌شود؟
- آمیب را چگونه دیده می‌توانید؟

## 5-11: میکروسکوپ

ذره بین ساده می‌تواند اشیای کوچک را تا اندازه‌یی بزرگ نماید. مگر بزرگ ساختن اشیایی که توسط چشم قابل دید نباشد توسط میکروسکوپ صورت می گیرد. میکروسکوپ ترکیبی از دو عدسیه است: عدسیه‌یی که به شی نزدیک است به‌نام عدسیه شی یاد می‌شود و فاصلۀ محراقی آن از $1cm$ کوچکتر می‌باشد. عدسیۀ دیگری که به چشم نزدیک می‌باشد، به‌نام عدسیۀ چشم یادشده و دارای فاصلۀ محراقی چندین سانتی متر می‌باشد؛ چنانکه در شکل (5-30) نشان داده شده است، شی در نزدیک محراق عدسیۀ شی گذاشته می‌شود که تصویر حقیقی بزرگ و معکوس را در داخل فاصلۀ محراقی عدسیۀ چشم تشکیل می‌دهد. عدسیۀ چشم که به‌حیث یک ذره بین ساده عمل می‌نماید، این تصویر بزرگ برای آن حیثیت شی را داشته و از آن یک تصویر خیلی بزرگ مجازی را تشکیل می‌دهد. تصویر در میکروسکوپ نسبت به شی اصلی در جهت معکوس دیده می‌شود، شکل (5-30).

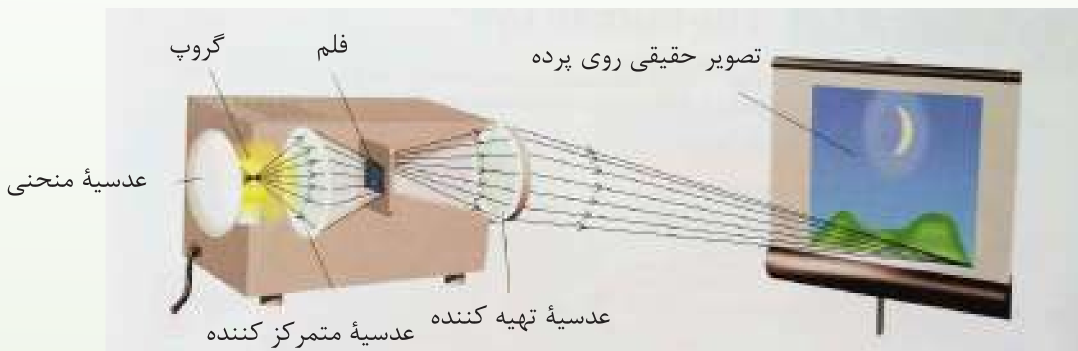




شکل(5-30): ساختمان و دیاگرام میکروسکوپ

## پروجکتور

هر گاه شی در فاصلهٔ بین c و f یک عدسیهٔ محدب واقع باشد، تصویر آن حقیقی، معکوس و بزرگتر از اصل شی می‌باشد. این سیستم اپتیکی در پروجکتور سلایدی یا فلمی‌که در یک پارچهٔ کوچک فلم از شی یک تصویر بزرگ را بالای پرده تشکیل می‌دهد به‌کار برده می‌شود. برای حاصل کردن یک تصویر که به طرف بالا عمود باشد، باید فلم در پروجکتور به‌طرف پایین طور عمود گذاشته شود. این ساختمان اساس پروجکتورها را تشکیل می‌دهد. بنابراین، پروجکتور عبارت از آله‌یی است که از فلم، شی یا سلاید، تصویر بزرگ بالای پرده تشکیل می‌دهد. شکل (31-5)




شکل (31-5) ساختمان و چگونگی کار پروجکتور



## خلاصهٔ فصل

- قسمتی از یک محیط شفاف، مانند شیشه که توسط دو سطح محدود شده باشد و کم از کم یک سطح آن انحنا داشته باشد به نام عدسیه یاد می‌شود.
- عدسیهٔ باریک: عدسیه‌یی را گویند که ضخامت آن از انحنای عدسیه و یا از فاصلهٔ شی نسبت به عدسیه خیلی کوچک باشد.
- در عدسیه‌های محدب شعاع وارده بعد از عبور از عدسیه با هم متقارب می‌شوند، کناره‌های عدسیه‌های محدب نسبت به قسمت وسطی آن‌ها نازکتر بوده و هر دو طرف آن‌ها محدب می‌باشد.
- در عدسیه‌های مقعر نور بعد از عبور از آن‌ها از همدیگر متباعد (دور) می‌گردند. کناره‌های این عدسیه‌ها نسبت به قسمت وسطی آن‌ها ضخیمتر و هر دو طرف آن‌ها مقعر می‌باشد.
- خطی که در یک عدسیه از مراکز دو سطح کروی (منحنی) گذشته و بر سطح مستوی عمود باشد به نام محور اصلی یاد می‌شود.
- نقطه‌یی که در وسط محور اصلی عدسیه موقعیت دارد به نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود.





- فورمول عدسیه‌های باریک عبارت از: $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p^{-}}$

- معکـوس فاصلـۀ محراقی $\left(\frac{1}{f}\right)$ را قدرت یا تقارب عدســیه می‌گویند و آن را به D نشان می‌دهند، یعنی $D = \frac{1}{f}$ که واحد آن $\frac{1}{m}$ است و به نام دیوپتر یاد می‌شود.

- فورمول نیوتن در عدسیه های باریک عبارت است از: $f^2 = X \cdot X'$

- معادلۀ ســاختن عدسیه عبارت اســت از: $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$ از این معادلــه برای دریافت قیمت‌های $R_1$ و $R_2$ زمانی اســتفاده کرده می‌توانیم که ضریب انکسار(n) و فاصلۀ محراقی عدسیه (f) معلوم باشد.

- بزرگ‌نمایی عدسیه از رابطۀ ذیل به دست می‌آید: $\gamma = \frac{I}{O} = \frac{P'}{P}$

# سؤالات فصل

1. شعاع آفتاب را کدام نوع عدسیه جمع (فوکس) کرده می‌تواند.

2. زمانی‌که یک شــی در محراق عدســیۀ محدب واقع باشــد چرا تصویر آن تشکیل نمی‌گردد؟

3. تصویر تشــکیل شده توسط یک عدسیۀ محدب باریک را در نظر بگیرید. تحت کدام شرایط تصویر:

a. معکــوس، b. به‌طــرف بالا، c. حقیقــی، d. مجازی، e. بزرگتر از اصل شـــی و f کوچکتر از اصل شی خواهد بود.





4. سؤال فوق را برای یک عدسیهٔ مقعر نازک در نظرگرفته جواب بدهید.

5. اگر یک عدسیهٔ محدب شیشه‌یی در آب گذاشته شود، فاصلهٔ محراقی عدسیه نسبت به حالتی‌که عدسیه در هوا باشد طویل خواهد شد یا کوتاه؟ چرا؟

6. اگر یک میکروسکوپ از دو عدسیهٔ محدب ساخته شده باشد، چرا تصویر معکوس تشکیل می‌دهد؟

7. در مقابل عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی 20cm باشد، شی گذاشته شده است. برای هر فاصلهٔ ذیل شی، فاصلهٔ تصویر را دریافت نمایید و بزرگ‌نمایی تصویر را توضیح نمایید.

a) $P = 40cm$　　b) $P = 200cm$　　c) $P = 10cm$

8. شخصی با استفاده از عدسیهٔ محدب، بازی را در مسابقه تماشا می‌کند. فاصلهٔ محراقی عدسیه 12.5cm است. عدسیه یک تصویر مجازی را تشکیل می‌دهد که از عدسیه به فاصلهٔ 30.0cm قرار دارد. بزرگ‌نمایی عدسیه را دریافت نمایید. آیا تصویر سر راسته است و یا سرچپه؟

9. یک شی در مقابل عدسیهٔ محدبی که دارای فاصلهٔ محراقی 20.0cm می‌باشد، گذاشته شده است. برای هر فاصلهٔ ذیل شی، فاصلهٔ تصویر و بزرگ‌نمایی را دریافت نمایید. هر تصویر را توضیح نمایید.

a. برای $40.0cm$ ، b. برای 10.0cm





10. هرگاه جسم بین $2f$ و $f$ یک عدسیهٔ محدب واقع باشد، چگونه تصویر تشکیل خواهد شد؟

a. حقیقی، معکوس و بزرگ

b. مجازی، به‌طرف بالا و بزرگ

c. حقیقی، معکوس و کوچک

d. مجازی، به‌طرف بالا و کوچک

11. برای دیدن یک تصویر بزرگ شده توسط یک عدسیه کدام یک از شرایط ذیل ضروری است؟

a. شی و تصویر باید از عدسیه به عین فاصله واقع باشند.

b. عدسیه باید محدب باشد.

c. بیننده باید به فاصلهٔ محراقی عدسیه موقعیت داشته باشد.

d. شی باید خارج فاصلهٔ محراقی عدسیه واقع باشد.

12. در میکروسکوپ‌ها کم از کم دو عدسیهٔ محدب به‌کار برده می‌شود. یکی برای شی و دومی‌برای چشم، این عدسیه‌ها باید به کدام فاصله از هم قرار بگیرند که تصویر در آن‌ها مجازی و بسیار بزرگ باشد. از نظر محراق‌ها این دو عدسیه باید در کدام موقعیت‌ها قرار بگیرند؟





**به سؤالات ذیل جواب دهید:**

1. برای ترسیم تصویر در یک عدسیه به چند شعاع ضرورت می‌باشد؟
2. اگر یک شـــی از عدســـیه به اندازهٔ فاصلهٔ دو چند محراق واقع باشد، تصویر آن را رسم و چگونه گی آن‌را بیان نمایید.
3. اگرشی در محراق عدسیه واقع باشد، تصویر آن در کجا تشکیل می‌گردد؟
4. جاهای خالی جملهٔ ذیل را با کلمه‌های مناسب پر نمایید.

اگر شی در بین محراق عدسیهٔ محدب و $2f$ واقع باشد، تصویر آن ................، ..............و خارج از............ تشکیل می‌گردد.





# برق ساکن

شــکل، شهر کابل را در شب نشان می دهد. مانند شهر های دیگر، کابل نیز از طرف شب توسط برق تولید شده از بندهای برق یا برق جنراتوری روشن می گردد. امروزه اکثریت جوامع خیلی زیاد به استفاده برق نه تنها برای روشنایی؛ بلکه برای راه اندازی کارخانه ها، ماشین ها، سیستم های ارتباطی و اطلاعاتی و گرم ساختن متکی اند. در این فصل خواص اساسی چارج برقی، روش های چارجدار شدن اجسام، محاسبه قوهٔ برقی، مفهوم پوتانشیل برقی و خازن ها مورد مطالعه قرار می گیرد.

در اخیر این فصل شـاگردان خواهند توانست به پرسش‌های ذیل جواب ارایه نمایند:

1. خــواص اساســی چارج‌هــای برقی چیســت؟ و چگونــه تغییر مکان می‌نماید؟
2. با استفاده از قانون کولمب، قوه‌های برقی بین چارج‌های برقی چگونه محاسبه می‌گردد؟
3. شدت ساحهٔ برقی و خطوط شدت ساحهٔ برقی چگونه بیان می‌شود؟
4. اجسام‌هادی و عایق از همدیگر چه تفاوت دارند؟



## 6-1: چارج برقی

آیا گاهی بعد از قدم زدن بالای یک فرش در وقت تماس دست تان با چیزی دیگر تکانی احساس کرده اید؟ و هم‌چنان دیده اید در هوای خشـک موهای شما بعد از شانه کردن توسط یک شانۀ پلاستیکی به طرف شانه جذب می‌گردد؟

عامل چنین اتفاقاتی؛ مانند دو نمونۀ بالا چه بوده می‌تواند؟

در صنوف قبلی راجع به مسـایل فوق چیز هایی آموخته اید. جذب شـدن مو توسط شانۀ پلاستیکی، تولید جرقه بر اثر کشـیدن دسـت بر روی تکه های پشـمی و یا تکانی که حین تماس دست خود با دستیگر دروازه بعد از راه رفتن بالای فرش حس می کنیم به علت چارجدار شدن اجسام است. اتفاقات ذکر شـده در هوای خشک خوب صورت می‌گیرد؛ زیرا اگر هوا زیاد مرطوب باشد از جسم چارج شده زمینۀ خروج چارج‌ها مساعد می‌گردد. اجسام چگونه چارجدار می‌شوند؟

بـرای دریافـت جواب به این پرسـش باید در مورد سـاختمان اتـوم یک اندازه معلومات داشـته باشـیم. تمـام اشـیای اطـراف ما از اتوم‌ها سـاخته شـده اند. هر اتـوم از ذرات کوچک تشـکیل گردیـده کـه عبارت از پروتـون، نیوترون و الکترون می‌باشـد. پروتون‌ها دارای چـارج مثبت اند و نیوترون‌هـا از نظـر چارج خنثی می‌باشـند و در مرکز اتوم (هسـته) قرار دارنـد. الکترون‌ها دارای چـارج منفی بوده و در اطراف هسـتۀ اتـوم (مدارها) در حال حرکت می‌باشـند بنجامین فرنکلین (Banjamin Franklin)، کـه در 1790-1706 زندگی می‌کرد. بالای چارج‌ها نام‌های مثبت و منفی را گذاشته است. این نام‌ها محض قرار دادی استند.

در مورد اتوم‌ها شـما در سال‌های آینده به‌صورت مفصل بحث خواهیدکرد. پروتون‌ها و نیوترون‌ها در هستۀ اتوم در موقعیت‌های خود نسبتاً ثابت اند، مگر الکترون‌ها می‌توانند از یک اتوم به اتوم دیگر نقل مکان نمایند.

تا زمانی‌که الکترون‌ها در یک اتوم توسط پروتون‌های مساوی در حال توازن قرار گرفته باشند، پس اتوم به صورت کل خنثی و چارج مجموعی آن صفر است. مگر زمانی‌که الکترون‌ها از یک اتوم خنثی به اتوم دیگر نقل مکان نمایند، پس اتوم اولی چارج منفی را از دست می‌دهد و دارای چارج مثبت می‌شود و اتوم دومی‌که الکترون‌ها به آن انتقال کرده است دارای چارج منفی می‌گردند. اتوم‌های که دارای چارج مثبت یا منفی باشند به‌نام آیون یاد می‌شوند.

موهای شما و شانه دارای تعداد زیاد اتوم‌های خنثی می‌باشند. مگر این یک خواست طبیعی چارج‌ها اسـت که بین مواد مختلف تغییر مکان نمایند. هر گاه دو جسـم را بایکدیگرمالش بدهیم (طور مثال شانه و موها) در بین آن‌ها سطح تماس (مالش) زیاد گردیده و زمینۀ تغییر مکان چارج مساعد می‌شود.





زمانی‌که شـــانه با موهای شـــما مالش داده می‌شـــود؛ الکترون‌های موهای شـــما به شانه تغییر مکان می‌نماید و به این ترتیب شانه منفی و موها مثبت چارج می‌شود.
در این تجربه و تجارب مشـــابه دیگر تنها مقدار اندک چارج‌ها از یک جسم به جسم دیگر تغییر مکان می‌نماینـــد. باید دقت شـــود که همان اندازه چارج منفی که به شـــانه تغییر مـــکان می‌نماید، به عین اندازه چارج‌های منفی از موها کاسته می‌شود (یا به عبارت دیگر، چارج مثبت آن به همان اندازه زیاد می‌شود). پس از این جا به این نتیجه می‌رسیم که چارج برقی خلق نشده؛ بلکه تنها به اندازۀ مساوی از یک جسم به جسم دیگر تغییر مکان می‌یابد که این موضوع را قانون تحفظ چارج گویند.

## 6-1-1: اجسام هادی و عایق

مواد را می توان از لحاظ قابلیت انتقال چارج برقی دسته بندی نمود.
هر گاه پلاستیک، رابر، شیشه و ابریشم توسط مالش چارج شوند در این اجسام چارج‌ها از همان قسمتی که چارج شده است به طرف دیگر حرکت نمی توانند؛ ولی بر عکس اگر بعضی اجسام دیگر؛ مانند مس، المونیم و نقره چارج شود این چارج‌ها در تمام سطح جسم تقسیم می‌شوند.
به این ترتیب، می‌توانیم اجسام را از نظر قابلیت انتقال چارج به دو گروه تقسیم نماییم.
موادی که در آن چارج‌های برقی به‌طور آزاد حرکت کرده بتوانند؛ مانند مس و المونیم، ازجمله اجســـام‌هادی اند و اجســـامی‌که در آن چارچهای برقی به‌طور آزاد حرکت کرده نتوانند به‌نام اجسام عایق برق یاد می‌شوند؛ مانند پلاستیک، رابر، شیشه و ابریشم.
یک نوع اجسام دیگر که در بین دو نوع فوق قرار دارند، به‌نام اجسام نیمه‌هادی یاد می‌شوند. اگر این اجســـام خالص باشند؛ مانند اجسام عایق اند و اگر در این اجسام ناخالصی به‌وجود بیاید و بعضی اتوم‌های خاص بیگانه در آن داخل گردند؛ پس خاصیت هدایت برقی آن زیاد می‌شود.





## طریقه های چارج کردن اجسام

### 1 – طریقه تماس

توسط این طریقه مثال شانه و موها را دیدیم. به عین ترتیب اگر یک میلۀ شیشه‌یی را با ابریشم و یک میلۀ رابری را با پشم یا پر مالش دهیم، پس این دو میله طوری چارج خواهند گردید که یکدیگر خود را جذب نمایند، یعنی در حقیقت یک میله مثبت و دیگر آن منفی چارج شده است.
اگر در این تجربه دو میلۀ شیشه‌یی قرار فوق چارج شوند؛ پس هر دو میله یکدیگرِ را دفع می‌نمایند، یعنی دارای چارج مشابه اند. در این مثال‌ها شیشه، رابر، ابریشم و پشم تماماً اجسام عایق اند. حال پرسش به‌وجود می‌آید که آیا اجسام‌هادی برق را نیز توسط مالش، چارج دار کرده می‌توانیم یا به عبارت دیگر از طریق تماس چارج شده می‌توانند یا خیر؟



**فعالیت**

**مواد مورد ضرورت**

یک میلۀ شیشه‌یی، میلۀ رابری، میلۀ مسی، ابریشم، پشم یا پر

### طرزالعمل

میلۀ شیشه‌یی را با ابریشم و میلۀ رابری را با پشم مالش دهید. طوری‌که قبلاً ذکر گردید یک میله مثبت و دیگر آن منفی چارج خواهد شد.
میلۀ مسی را با پشم مالش دهید بعد آن‌را به میلۀ شیشه‌یی و میلۀ رابری نزدیک سازید، ببینید که چه واقع می‌شود؟
مرتبۀ دیگر، میلۀ مسی با دستۀ عایق را با پشم مالش دهید و بعد آن‌را به میلۀ شیشه‌یی و رابری نزدیک سازید و ببینید که چه واقع می‌شود؟



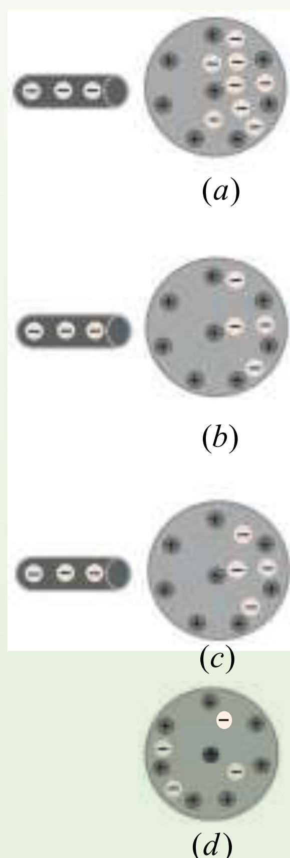

شکل (1-6)



در حالت اول که میلهٔ مسی را به میله‌های شیشه‌یی و رابری نزدیک می‌نمایید، ممکن است هیچ کدام را جذب یا دفع نکند؛ مگر در حالت دوم میلهٔ مسی را که دارای دستهٔ عایق است به هر دو میله نزدیک نمایید، میلهٔ شیشه‌یی را جذب و میلهٔ رابری را دفع می‌نماید. علت آن چه بوده می‌تواند؟
ممکن است شما فکر نمایید که میلهٔ مسی در حالت اول به اثر مالش چارج دار نمی‌گردد، مگر در حالت دوم چارج دار می‌شود.
این موضوع را چنین توضیح می‌نماییم. در حالت اول نیز میلهٔ مسی چارج دار می‌شود، مگر چارج‌های آن از طریق بدن شما و زمین که هر دو هدایت کننده‌های خوب هستند در اسرع وقت حرکت می‌نمایند. در حالت دوم که دستهٔ میلهٔ مسی عایق است چارج‌ها از میله حرکت کرده نمی‌توانند و به همین سبب، میلهٔ مسی، میلهٔ شیشه‌یی را جذب می‌نماید و میلهٔ رابری را دفع می‌کند، یعنی در این حالت میلهٔ مسی چارج دار است.
در این جا واضح می‌شود که اجسام عایق وهادی هر دو از طریق تماس چارج دار شده می‌توانند.

## 2- طریقه القا

هرگاه یک میلهٔ رابری چارج شدهٔ منفی به یک کرهٔ خنثی و چارج ناشده نزدیک گردد، بین چارج‌های منفی میله و چارج‌های منفی کره، قوهٔ دفع اثر نموده در نتیجهٔ آن چارج‌های منفی کره به طرف مقابل (عقب) حرکت می‌نمایند، طوری‌که در شکل $(6-2,a)$ نشان داده شده است. اگر کره توسط یک سیم‌هادی با زمین وصل گردد؛ چنانکه در شکل $(6-2,b)$ نشان داده شده است، یک تعداد الکترون‌ها به زمین حرکت خواهند کرد. حالا اگر سیم‌هادی برداشته شود و میلهٔ رابری چارج شدهٔ منفی به جای خود نگهداشته شود؛ طوری‌که در شکل $(6-2,c)$ نشان داده شده است، در این حالت کره دارای تعداد بیشتر چارج‌های مثبت القایی می‌باشد. حال اگر میلهٔ رابری چارج شدهٔ منفی دور شود، چارج‌های مثبت القا شده در کره باقی می‌ماند و چنانکه در شکل $(6-2,d)$ نشان داده شده است، این چارج‌های القایی در بالای سطح کره به طور متناظر توزیع می‌گردند.این عملیه را القا گویند و این چارج‌ها به‌نام چارج‌های القایی یاد می‌شوند.
در این جا باید متوجه بود جسمی‌که به واسطهٔ القا چارج دار می‌شود، با جسم القا کننده (میلهٔ رابری) تماس نمی‌کند؛ بلکه با جسم سومی



شکل (2-6)

(زمیــن) تماس می‌نمایــد. میلهٔ رابری چارج‌های منفی خود را از دســت نمی‌دهد؛ زیرا که با کره در تماس نیست. در این طریقه دو جسم با یکدیگر تماس حاصل نکرده و انتقال مستقیم چارج‌ها در آن صورت نمی‌گیرد.

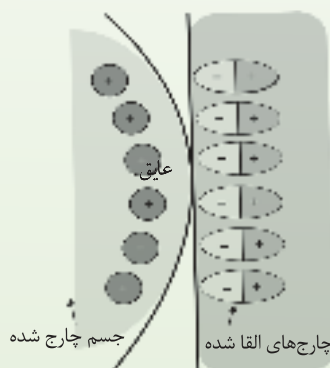
به وسیلهٔ قطبی شدن چارج ها نیز می‌توان بر روی سطح یک جسم عایق چارج القایی تولید کرد. قبلاً دیدیم که توسط شانهٔ پلاستیکی چارج شده پارچه‌های کاغذ جذب می‌شد، شکل (6-3a). سبب آن چه بوده می‌تواند؟

یک عملیهٔ مشــابه به چارج شــدن القایی اجسام‌هادی وجود دارد که به وسیلهٔ آن اجسام عایق چارج شــده می‌توانند. در اکثر اتوم‌ها و مالیکول‌های خنثــی مراکز چارج‌های مثبت و منفی بالای یکدیگر منطبق می‌باشد. در صورت موجودیت یک جسم چارج دار در نزدیک جسم عایق این مراکز ازیکدیگر فاصله می‌گیرند و در نتیجه به یک طرف مالیکول‌های آن چارج‌های مثبت بیشتر نسبت به طرف دیگر آن قرار می‌گیرند. این عملیه به‌نام پولیرایزیشن یا قطبی شدن یاد می‌شود.

وقتی‌که این حالت چارج‌ها در هر مالیکول به‌وجود آید، در این صورت بالای ســطح عایق یک چارج القایی تولید می‌گردد، چنانکه در شکل (6-3b) نشان داده شده است.

وقتی‌که یک جسم قطبی شود با وجود این‌که چارج محصلهٔ آن صفر است مگر با آنهم می‌تواند چارج‌ها را جذب یا دفع نماید.

به همین دلیل است که اگر یک شانه پلاستیکی که جسم عایق است به پارچه‌های کاغذ نزدیک شود آن‌را جذب می‌نماید. در این جا باید متوجه بود که مانند چارج شدن توسط عملیهٔ القا، درقطبی شدن نیز بالای سطح یک جسم، چارج‌ها بدون تماس فزیکی القا می‌گردد.






b　　　a

**شکل** (6-3)

**سؤالات**

1 - وقتی‌که یک میلهٔ رابری با تکهٔ پشمی‌مالش داده شود، میلهٔ منفی چارج خواهد شد. در این حالت در مورد چارج تکهٔ پشمی چه گفته می‌توانید؟

2 - چرا فلزاتی مانند مس، نقره و غیره توسط القا چارج می‌گردد، درحالی‌که اجسام عایق مانند پلاستیک چارج شده نمی‌توانند؟ توضیح نمایید.

## 6-2: قوهٔ برقی

دو جسم چارج دار می‌تواند یکی به طرف دیگر جذب و یا یکی توسط دیگر دفع شود؛ زیرا که اجسام چارج دار بالای یکدیگر قوه وارد می‌نمایند، این قوه به‌نام قوهٔ برقی یاد می‌شود. این‌که این قوه چقدر بزرگ و یا کوچک است، آن را در قانون کولمب مطالعه خواهیم کرد.

## قانون کولمب

قوهٔ برقی بین دو جسم چارجدار با مقدار چارج اجسام و فاصله بین شان چگونه رابطه دارد؟
در سال 1785 چارلس کولمب غرض تعیین مقدار قوه بین دو جسم چارج شده، تعداد زیاد تجارب را انجام داد. کولمب در یافت که قوهٔ برقی بین دو جسم چارج دار مستقیما متناسب به حاصل ضرب چارج است، یعنی هر گاه یک چارج دو چند شود قوهٔ برقی نیز دو برابر می‌شود و اگر چارج دوم نیز دو چند گردد پس قوهٔ برقی چهار برابر می‌شود. کولمب این را هم در یافت که قوهٔ برقی بین دو چارج معکوساً متناسب به مربع فاصله بین آن‌ها است، یعنی هر گاه فاصله بین دو چارج نیم گردد، قوهٔ برقی چهار برابر زیاد می‌شود. رابطهٔ که به‌نام قانون کولمب یاد می‌شود. برای دو چارج که به فاصلهٔ r از همدیگر واقع باشند، رابطهٔ ریاضیکی این قانون چنین است.

$$\text{قوهٔ برقی} = (\text{ثابت کولمب}) \frac{(\text{چارج اول})(\text{چارج دوم})}{(\text{فاصله})^2}$$

و یا:

$$F_{electric} = K_c(\frac{q_1 q_2}{r^2})$$

در رابطه فوق ضریب $K_c$ به نام ثابت کولمب یاد می شود. مقدار ثابت کولمب در واحدات SI برابر است یا

$$K_c = 8.987551787 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cong 8.988 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

ثابت کولمب $K_c$ معمولاً به طور $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ نیز می نویســـند. $\varepsilon_0$ (اپسیلون صفر) به عنوان ضریب نفوذ پذیری برقی خلا شناخته شده و مقدار آن تقریباً $\varepsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ است.

قانون کولمب شباهت قابل ملاحظه‌یی با قانون جاذبه نیوتن دارد.

$$F_g = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

قوۀ برقی همیشـــه در امتداد خط مســـتقیمی عمل می‌کند که مراکـــز دو چارج را باهم وصل می‌نماید. قابل یاد آوری است که قانون کولمب تنها بالای چارج‌های نقطه‌یی و چارج‌هایی که به شکل کروی تقسیم شده باشند (چارج‌های که در فضای کروی تقسیم شده باشند) تطبیق می‌گـردد. هـر گاه قانون کولمب را بالای توزیع کروی چارج‌هـا تطبیق نماییم، در این حالت فاصله بین چارج ها عبارت از فاصله بین مراکز کره‌ها می‌باشد.





**مثال اول:** در اتوم‌هایدورجن الکترون و پروتون توسط فاصلهٔ ( $5\cdot3\times10^{-11}m$ ) از همدیگر جدا شده اند. مقدار قوهٔ برقی و مقدار قوهٔ جاذبه را که این دو ذره بالای یکدیگر وارد می‌نمایند در یافت نمایید.

| کمیات معلوم | کمیات مجهول |
|---|---|
| $r = 5.3\times10^{-11}m$ | $F_{electric} = ?$ |
| $k_c = 8.99\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$ | $F_g = ?$ |
| $m_e = 9.109\times10^{-31}kg$ | |
| $m_p = 1.673\times10^{-27}kg$ | |
| $q_e = -1.60\times10^{-19}\,C$ | |
| $q_p = +1.60\times10^{-19}\,C$ | |
| $G = 6.673\times10^{-11} \frac{N\,m^2}{kg^2}$ | |

**حل:** برای دریافت مقدار قوهٔ برقی از قانون کولمب استفاده می‌نماییم، یعنی:

$$F_{electric} = k_c \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

هم‌چنان برای در یافت مقدار قوهٔ جاذ به‌یی از قانون نیوتن استفاده می‌نماییم، یعنی:

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$

در این جا مقصد ما جاذبهٔ حرکت دایروی است.

کمیات معلوم را در این معادلات وضع می‌کنیم و زمانی‌که اندازهٔ قوهٔ برقی را در یافت می‌نماییم از علامت‌های چارج‌ها صرف نظر می‌نماییم؛ بنابراین:

$$F_{electric} = k_c \frac{q_e q_p}{r^2} = (8.99\times10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2})\left(\frac{(1.6\times10^{-19})^2}{(5.3\times10^{-11}m)^2}\right)$$

$$F_{electric} = 8.2\times10^{-8}\,N$$

$$F_g = G \frac{m_c\ m_p}{r^2} = (6.673\times10^{-11} \frac{N\cdot m^2}{kg^2})\left(\frac{(9.109\times10^{-31}kg)(1.673\times10^{-27}kg)}{(5.3\times10^{-11}\,m)^2}\right)$$

$$= 3.6\times10^{-47}\,N$$





چـــون الکترون و پروتـــون دارای علامت‌های مخالف اند، پس قوۀ برقی بین آن‌ها عبارت از قوۀ جذب می‌باشد. اگر نسبت بین این دو قوه را مطالعه نماییم؛ پس:

$$\frac{F_{electric}}{F_g} = \frac{8.2 \cdot 10^{-8}\,N}{3.6 \cdot 10^{-47}\,N} = 2 \times 10^{39}$$

از این جا معلوم می‌شود که قوۀ جاذبوی نیوتن نسبت به قوۀ برقی خیلی کوچک و قابل صرف نظر می‌باشـــد؛ چون این هر دو قوه معکوساً متناسب با مربع فاصله اند؛ بنابراین نسبت این دو قوه مربوط به فاصله نمی‌باشد.

## مثال دوم

دو ذره بـــا چارج‌های برقی $q_1 = +2\mu C$ □ $q_2 = +5\mu C$ بـــه فاصلۀ $3cm$ از همدیگر قرار دارنـــد. قوه‌یی را دریافت نمایید که این ذرات بالای یکدیگر وارد می‌نمایند و هم‌چنان نوع قوه را مشخص نمایید.

**حل**: با استفاده از قانون کولمب می‌توانیم بنویسیم که:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1\ q_2}{r^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \frac{N\,m^2}{C^2}\ \frac{(2 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})C^2}{9 \times 10^{-4}\,m^2} = 100N$$

چـــون ذرات چـــارج دار، دارای چارج‌های هم نوع اند؛ بنابراین قوه‌یـــی را که هر دو ذره بالای یکدیگر وارد می‌نماید قوۀ دفع است.

**تمرین**

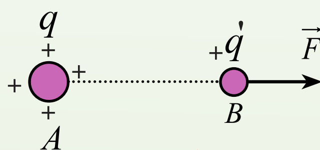
درمثال فوق قوۀ وارده را بالای $q_1$ حساب نمایید.

## 6-3: ساحهٔ برقی

قوهٔ جاذبه و قوهٔ برقی هر دو قوه های ساحوی اند. زمانی‌که یک چرخ را تیله می‌کنید یا توپی را با پای خود ضربه می‌زنید، بالای آن ها قوه وارد کرده اید. این قوه ها تماسی گفته می‌شوند؛ زیرا دست شما با چرخ و پای شما با توپ تماس فزیکی دارند. اگر بین اشیای عمل کنندهٔ متقابل هیچ نوع تماس وجود نداشته باشد، قوه‌های ساحوی بین آن‌ها اثر می‌نماید.

تعجیل جاذبوی زمین (g)در یک نقطهٔ فضا مساوی به حاصل تقسیم قوهٔ جاذبهٔ زمین ($f_g$) بالای کتلهٔ ($m$) ذرهٔ امتحانی است، یعنی $g=\frac{f_g}{m}$ هم چنان در اطراف یک چارج برقی ساحهٔ برقی وجود دارد. هر گاه یک شی یا چارج امتحانی، در ساحهٔ این چارج آورده شود بالای آن قوهٔ برقی عمل می‌نماید.

فرض نمایید که یک کرهٔ کوچک با چارج $+q$ مطابق شکل (6-4) در نقطهٔ $A$ قرار دارد. هر گاه ذرهٔ دیگری با چارج $+q'$ را در نقطهٔ $B$ قرار دهیم، ازطرف چارج $+q$ بالای آن قوهٔ $\vec{F}$ وارد می‌شود. (می‌دانیم که چارج $+q'$ نیز بالای $q$ قوه‌یی وارد می‌نماید که عکس‌العمل قوهٔ $\vec{F}$ می‌باشد.



شکل (6-4)

حال در مورد پرسش‌های ذیل فکر نمایید.

هر گاه کرهٔ چارج دار q را از نقطهٔ A بر داریم (شکل 4-5)، آیا در نقطهٔ B بالای چارج q' قوه عمل می‌نماید؟ هر گاه چارج q' در نزدیک A در هر موقعیت گذاشته شود آیا باز هم بالای آن قوهٔ برقی عمل می‌نماید؟

با در نظر داشت گفته‌های فوق می‌توانیم بگوییم که: یک چارج برقی در هر نقطهٔ اطراف فضای خود خاصیتی را به‌وجود می‌آورد که به‌نام ساحهٔ برقی یاد می‌شود. هر گاه یک چارج برقی در یک نقطهٔ ساحه برقی واقع گردد، از طرف ساحه بالای آن قوهٔ برقی وارد می‌گردد.

## 6-3-1: تعریف ساحهٔ برقی

هر گاه چارج نقطه‌یی $+q_o$ مطابق شــکل (6-5) در ساحهٔ برقی چارج q ساحه برقی در یک نقطهٔ معین مســاوی اســت با قوهٔ برقی وارده بالای چارج (چارج امتحانی) در همان نقطه بر واحد چارج برقی واقع گردد، از طرف ساحهٔ تولید شده توسط چارج q، بالای آن قوهٔ $\vec{F}$ وارد می‌شود. به اساس تعریف فوق، در جایی که چارج $+q_o$ گذاشته شده است ساحهٔ برقی چارج q را که توسط $\vec{E}$ نشان می‌دهیم از رابطهٔ ذیل حاصل می‌گردد:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q_o}$$



شکل (6-5)

ساحهٔ برقی کمیت وکتوری است. واحد ساحهٔ برقی نیوتن بر کولمب $(\frac{N}{C})$ است.

**مثال**: در ساحهٔ برقی چارج q بالای یک چارج برقی $+0.2\mu C$ ، قوهٔ $5\times10^{-2} N$ عمل می‌نماید. ساحهٔ برقی را در این نقطه محاسبه نمایید.

**حل**: از ارابطهٔ $E = \frac{F}{q}$ می‌توانیم ساحهٔ برقی را دریافت نماییم.

$$E = \frac{5\times10^{-2}\,\text{N}}{2\times10^{-7}\,\text{C}}$$

$$= 2.5\times10^{5}\,\frac{\text{N}}{\text{C}}$$





## ساحهٔ برقی یک ذرهٔ چارج دار

می‌خواهیم ساحهٔ برقی یک ذرهٔ چارج دار q را در نقطهٔ A که از q به فاصلهٔ r واقع است محاسبه نماییم، شکل (6-6). برای این کار از رابطهٔ $(E = \frac{F}{q})$ استفاده می‌نماییم. هرگاه در نقطهٔ A ذرهٔ چارج دار $+q_0$ قرار گیرد، از طرف چارج q بالای آن قوهٔ $\vec{F}$ وارد می‌شود. با استفاده از قانون کولمب مقدار قوه را حساب کرده و در رابطه (1) باگذاشتن قیمت آن ساحهٔ برقی چارج q را در نقطهٔ A پیدا می‌کنیم.

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q\,q_o}{r^2} \quad ............(1)$$

$$E = \frac{F}{q_o}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2} \quad ...............(2)$$



شکل (6-6)

از رابطهٔ فوق معلوم می‌شود که ساحهٔ برقی با چارج q تناسب مستقیم و با مربع فاصله از چارج تناسب معکوس دارد. چون ساحه یک کمیت عمل کننده است؛ پس برای تعیین جهت ساحه در یک نقطه به‌طور مثال نقطهٔ A فرض می‌نماییم که در نقطهٔ متذکره یک چارج مثبت قرار دارد. در این نقطه ساحه، دارای جهت قوهٔ وارده بالای چارج فرضی است؛ بنابر این، در هر نقطهٔ ساحهٔ برقی، جهت قوهٔ وارده بالای چارج مثبت در همان نقطه را دارا می‌باشد.

**مثال:** ساحهٔ برقی ذرهٔ چارج دار $-2\mu C$ را در نقطهٔ M در حالی در یافت نماییدکه:

الف) از چارج به فاصلهٔ 2mm قرار داشته باشد.

ب) از چارج به فاصلهٔ 20cm قرار داشته باشد و برای یک حالت وکتور ساحه را ترسیم نمایید.





**حل:** با استفاده از رابطهٔ (2) می‌توانیم مقدار ساحهٔ برقی را در نقطهٔ مورد نظر دریافت نماییم.

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_O}\frac{q}{r^2}$$

الف)

$$E_1\ 9\times10^9\frac{N\cdot m^2}{C^2}\times\frac{2\times10^{-6}\,C}{4\times10^{-6}\,m^2}$$

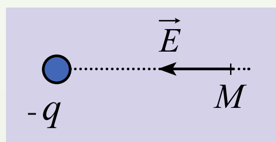
$$= 4.5\times10^9\frac{N}{C}$$

ب)

$$E_2\ 9\times10^9\frac{N\cdot m^2}{C^2}\times\frac{2\times10^{-6}\,C}{4\times10^{-2}\,m^2}$$

$$= 4.5\times10^5\frac{N}{C}$$

غرض ترسیم جهت ساحه فرض می‌نماییم که به فاصلهٔ 2mm از چارج q در نقطهٔ M یک چارج امتحانی مثبت قرار دارد؛ چون چارج q منفی است، چارج فرض شدهٔ مثبت را جذب می‌نماید، پس ساحهٔ چارج q نیز دارای همین جهت قوه است؛ چنانکه در شکل (7-6) نشان داده شده است.




شکل (7-6)

## ساحهٔ برقی حاصل شدهٔ یک تعداد ذرات چارج دار

قانون کولمب فقط عمل متقابل بین دو چارج نقطه‌یی را توصیف می کند. تجربه ها نشان می دهند که وقتی چندین چارج همزمان قوه هایی بر یک چارج وارد کنند، قوهٔ محصله وارده بر آن چارج مساوی است با حاصل جمع وکتوری قوه‌هایی‌که هر یک از چارج ها به طور مجزا بر آن وارد می کنند. این خاصیت به نام اصل بر هم نهی (سوپر پوزیشن) قوه ها یاد می شود.





طور مثال غرض محاسبهٔ ساحهٔ برقی در نقطهٔ p فضا اول ساحه‌های تولید شده توسط هر چارج را به صورت جداگانه با استفاده از معادلهٔ $E = \frac{1}{4\mu\varepsilon_o} \cdot \frac{q}{r^2}$ محاسبه کرده و بعد آن‌ها را به‌صورت وکتوری جمع می‌کنیم.

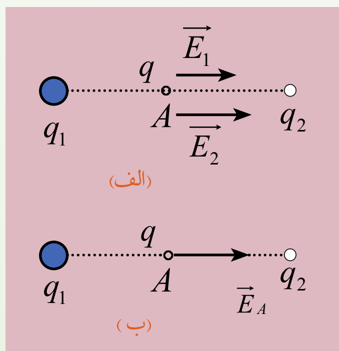
**مثال**: دو ذرهٔ چارج دار $q_1 = +4\mu C$ و $q_2 = -6\mu C$ از یکدیگر خود به فاصلهٔ 8cm واقع اند. ساحهٔ برقی را در نقاط ذیل در یافت نمایید.

الف) در قسمت وسط خط اتصال دهندهٔ هر دو ذره.

ب) در همان نقطهٔ خط اتصال دهندهٔ هر دو ذره که از چارج $q_2$ به فاصلهٔ 2cm و از چارج $q_1$ به فاصلهٔ 10cm واقع باشند.

**حل**: ساحهٔ برقی هر ذرهٔ چارج دار را به صورت جدا گانه محاسبه می‌نماییم. ساحهٔ محصله، مجموعهٔ ساحه‌های هر دو چارج خواهد بود.

الف) هرگاه یک چارج مثبت را در نقطهٔ A قرار دهیم، چارج $q_1$ آن‌را دفع می‌نماید و چارج $q_2$ آن‌را جذب می‌کند؛ بنابر این در نقطهٔ A، ساحه‌های $\vec{E_1}$ , $\vec{E_2}$ دارای عین جهت می‌باشند و به‌طرف چارج $q_2$ است، (اشکال 8-6 الف و ب).




شکل (8-6)

$$E = k\frac{q}{r^2}$$

$$E_1 = 9\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \times \frac{4\times10^{-6}C}{(4\times10^{-2}m)^2}$$

$$E_1 = 9\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \times \frac{10^{-2}C}{4m^2} = 2.25\times10^7 \frac{N}{C}$$

$$E_2\ 9\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \times \frac{6\times10^{-6}C}{16\times10^{-4}m^2}$$

$$E_2 = 3.375\times10^7 \frac{N}{C}$$

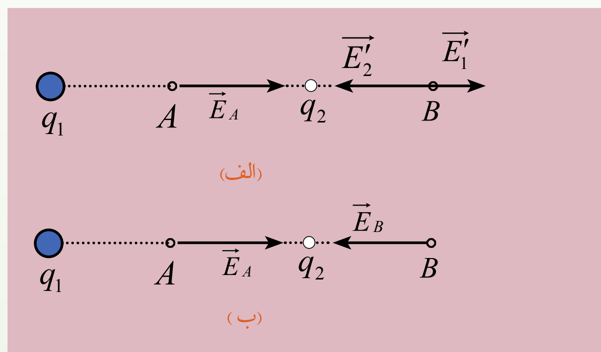
چون $\vec{E}_2$ , $\vec{E}_2$ داری عین جهت اند، حاصل جمع آن‌ها مساوی به ساحهٔ محصله می‌باشد. به خاطر داشته باشید که در نقطهٔ $A$ تنها ساحهٔ $\vec{E}_A$ وجود دارد.

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_A = 2.250\cdot10^7\,N/C + 3.375\cdot10^7\,N/C$$

$$E_A = 5.875.\ 10^7\,\frac{N}{C}$$

ب) هرگاه یک چارج مثبت را در نقطهٔ B قرار دهیم، چارج $q_1$ آن را دفع و چارج $q_2$ آن را جذب می‌نماید. در نتیجه جهت $E'_2$ به طرف چارج $q_2$ و جهت $E'_1$ بر خلاف آن می‌باشد، (شکل 14).




شکل (9-6)

$$E'_1 = 9\times10^9\,\frac{N\,m^2}{C^2}\times\frac{4\times10^{-6}\,C}{(10\cdot10^{-2}\,m)^2}$$

$$= 3.60\times10^6\,\frac{N}{C}$$

$$E'_2 = 9\times10^9\,\frac{N\,m^2}{C^2}\times\frac{6\times10^{-6}\,C}{4\times10^{-4}\,m^2}$$

$$E'_2 = 1.35\times10^8\,\frac{N}{C} = 135.0\cdot10^6\,\frac{N}{C}$$

چون $\vec{E'_1}$ او $\vec{E'_2}$ دارای جهت‌های مخالف اند، پس ساحهٔ محصله، مساوی به حاصل تفریق آن‌ها است.

$$\vec{E}_B = \vec{E'}_2 - \vec{E'}_1$$

$$E_B = E'_2 - E'_1 = 131.4\times10^6\,\frac{N}{C}$$

## 6-3-2: **خطوط ساحه برقی**

ساحۀ برقی اطراف یک جسم چارج دار را توسط خطوطی نشان می‌دهیم که به نام خطوط ساحۀ برقی یاد می‌شود. این خطوط دارای مشخصات ذیل می‌باشند:

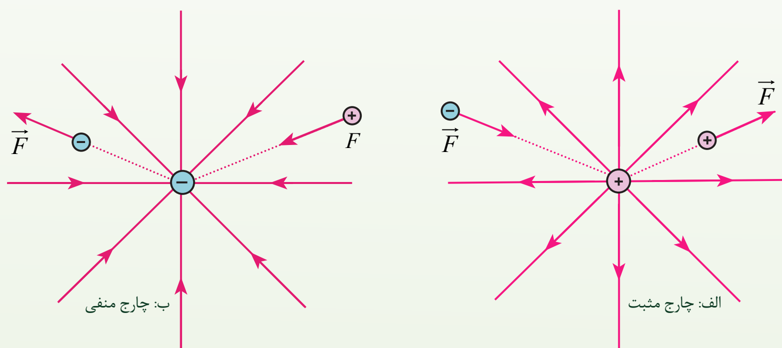
1 - خطوط ساحه در هر نقطه، دارای جهت قوه‌یی می‌باشد که در همان نقطه بالای یک چارج واقع شدۀ مثبت وارد می‌گردد. درنتیجه، جهت این خطوط از چارج مثبت به‌طرف خارج و برای چارج منفی به داخل آن است. (قوۀ وارد، بالای چارج منفی جهت مخالف جهت ساحه را دارا است).

2 - خط ساحه در هر نقطه، جهت ساحه را در همان نقطه نشان می‌دهد و ساحه در هر نقطه وکتوری است که در همان نقطه با خط ساحه مماس و جهت آن‌را دارا است.

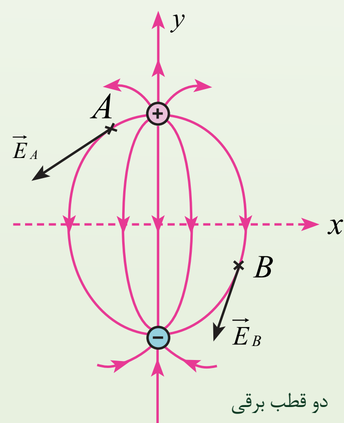
3 - در هر محل که ساحه قوی باشد در آن‌جا خطوط ساحه با یکدیگر نزدیک واقع اند.

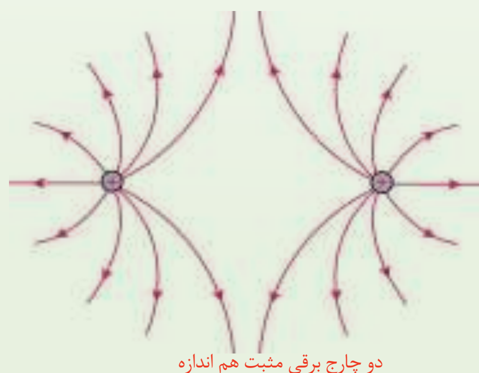
4 - خطوط ساحه یکدیگر را قطع نمی‌کنند، یعنی از هر نقطه صرف یک خط عبور می‌کند.

درشکل (6-10) خطوط ساحه برای چارج های مثبت و منفی نشان داده شده است.




شکل (6-10)



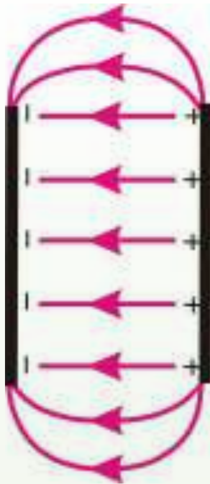
## حرکت ذرات چارج دار در یک ساحهٔ منظم برقی

هر گاه یک ذره با چارج q و کتلهٔ m در یک ساحهٔ برقی واقع گردد، قوهٔ برقی $q\vec{E}$ بالای چارج عمل می‌نماید. اگر این تنها قوه‌یی باشد که بالای ذره عمل می‌کند، پس باید قوه خالص باشد و مطابق قانون دوم نیوتن به ذره تعجیل بدهد، طوری‌که:

$$\vec{F_e} = q\vec{E} = m\vec{a}$$

از این‌جا تعجیل ذره عبارت است از:

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$



شکل (11-6) ساحهٔ بین دوهادی موازی با چارج‌های هم اندازه

اگر $\vec{E}$ منظم باشد، یعنی مقدار و جهت آن ثابت باشد؛ پس تعجیل ثابت است. اگر ذره دارای چارج مثبت باشد، تعجیل جهت ساحه را دارا است. هرگاه ذره‌یی دارای چارج منفی باشد، تعجیل دارای جهت مخالف می‌باشد.

**مثال:** ذره‌یی را که دارای $2g$ کتله و $2\mu C$ چارج است در ساحهٔ خارجی $4\times10^4\ \frac{N}{C}$ قرار می‌دهیم. تعجیلی را محاسبه نمایید که ذره در اثر قوهٔ برقی وارده حاصل می‌نماید.

**حل:**

$$F = q\,E$$

چون داریم که:

$$F = 2\times10^{-6}\,C\times4\times10^4\,\frac{N}{C}$$

$$= 8\times10^{-2}\,N$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{8\times10^{-2}\,N}{2\times10^{-3}\,kg}$$

$$a = 40\ m/sec^2$$





## 6-4: پوتانشیل برقی

شما با انرژی پوتانشیل ساحهٔ جاذبوی زمین آشنا استید و این را نیز مشاهده کردید که با مصرف انرژی واجرای کار می‌توانیم جسمی‌با کتلهٔ m را از سطح زمین به ارتفاع h بلند نماییم. همان انرژی که برای بلند کردن جسم (با سرعت ثابت) به مصرف می‌رسد به شکل انرژی پوتانشیل جاذبه در جسم ذخیره می‌گردد. با انرژی پوتانشیل کشش فنر نیز آشنا استید، یعنی هر گاه فنری را آهسته آهسته منقبض نماییم یا آن‌را انبساط دهیم و کش نماییم، کار اجرا شده به شکل انرژی پوتانشیل در فنر ذخیره می‌شود. حال می‌خواهیم با انرژی پوتانشیل برقی آشنا شویم.

درقسمت اول این فصل دیدیم که دو ذرهٔ چارج دار بالای یکدیگر قوه وارد می‌نمایند و شما دیدید که بین دو چارج هم علامت قوهٔ دفع و بین دو چارج با علامت‌های مختلف قوهٔ جذب عمل می‌نماید. اگر دو چارج با عین علامت را داشته باشیم و آن‌ها را به یکدیگر نزدیک نماییم، لازم است که به‌خاطر غلبه بالای قوهٔ دفع بین آن‌ها کاری انجام دهیم و هم‌چنان هر گاه خواسته باشیم دو چارج با علامت‌های مختلف را ازیکدیگر با سرعت ثابت دور نماییم، پس به‌خاطر غالب شدن بالای قوهٔ جذب بین آن‌ها نیز باید کار انجام دهیم. در هر دو حالت کار انجام شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در ذرات چارج دار ذخیره می‌شود.

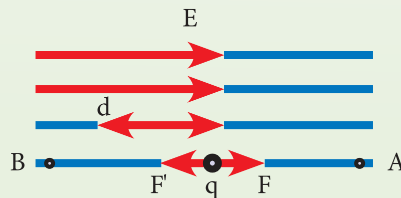
**مثال**: ذرهٔ چارج دار مثبت q را با سرعت ثابت در بین یک ساحهٔ منظم برقی $\vec{E}$ (یعنی ساحهٔ که وکتور ساحه در هر محل عین چیز باشد)در جهت مخالف ساحه و موازی با خطوط ساحه به فاصلهٔ d تغییر مکان می‌دهیم. برای این تغییر مکان چه مقدار کار باید اجرا شود؟

**حل**: ساحهٔ برقی بالای چارج $+q$ در جهت ساحه، قوهٔ $F = qE$ را وارد می‌نماید. برای این‌که ذرهٔ q را با سرعت ثابت در جهت مخالف تغییر مکان دهیم، باید بالای آن قوهٔ $F' = qE$ در جهت مخالف ساحه، یعنی در جهت تغییر مکان وارد نماییم شکل (6-12). بنابراین زاویه بین قوهٔ وارده (یعنی F') و تغییر مکان $(\vec{d})$ صفر است. کاری که بالای چارج انجام می شود مساوی است به:

$$W = F' \cdot d \cdot \cos \propto$$

$$W = q \cdot E \cdot d \cos 0^\circ$$

$$W = q\,E \cdot d$$




شکل (6-12)

کاری انجام شده مثبت است و انرژی مصرف شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در چارج برقی ذخیره می‌شود. هر اندازه که تغییر مکان بیشتر باشد، کار و انرژیِ مصرف شده زیاد می‌شود و در نتیجه انرژی پوتانشیل برقی چارج تزاید می‌نماید و این عیناً مشابه به حالتی است که ما یک جسم را به روی سطح زمین از یک نقطه به نقطهٔ مرتفع دیگر انتقال می‌دهیم و در انرژی پوتانشیل جاذبوی آن تزاید به‌عمل می‌آید. اگر چارج برقی q در نقطهٔ B رها گردد، در جهت ساحه حرکت کرده و انرژی پوتانشیل برقی آن به انرژی حرکی تبدیل می‌شود. این حالت مشابه به آن است که یک جسم از نقطهٔ مرتفع زمین رها گردد و به‌طرف پایین حرکت نماید. در این حالت انرژی پوتانشیل جاذبوی آن کاهش نموده و به انرژی حرکی تبدیل می‌شود.

**مثال:**

چارج برقی منفی q را در یک ساحهٔ برقی منظم E با سرعت ثابت درجهت ساحه به فاصلهٔ d از A به B تغییر مکان می‌دهیم. کاری را که در این تغییر مکان انجام می‌شود محاسبه نمایید.

**حل**: از طرف ساحه قوهٔ $F = q\,E$ در جهت مخالف ساحه بالای چارج منفی برقی وارد می‌شود. در نتیجه به خاطر تغییر مکان چارج q با سرعت ثابت باید قوهٔ $F' = q\,E$ در جهت ساحه، یعنی در جهت تغییر مکان بالای آن وارد گردد، کاری که در این تغییر مکان انجام گردیده عبارت است از:

$$w = F' \cdot d \cdot \cos\alpha$$
$$w = q \cdot E \cdot d$$

در این مثال نیز کار اجرا شده مثبت است و انرژی مصرف شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در چارج q ذخیره می‌شود. هرگاه چارج q در نقطهٔ B رها گردد، در جهت مخالف ساحه به حرکت شروع می‌نماید. در این حالت از انرژی پوتانشیل برقی آن کاسته شده و به انرژی حرکی تبدیل می‌شود.

از این مثال‌ها نتیجه می‌شود که کار اجرا شده بالای چارج‌ها مثبت بوده و انرژی مصرف شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در چارج q ذخیره می‌شود و زمانی‌که چارج رها گردد، در جهت مخالف کار انجام شده به حرکت آغاز می‌نماید. در این حالت انرژی پوتانشیل برقی آن کاهش یافته و به انرژی حرکی تبدیل می‌شود.

بنابراین، زمانی‌که یک چارج برقی را در یک ساحهٔ برقی تغییر مکان می‌دهیم در انرژی





پوتانشیل برقی آن تغییر به وجود می‌آید و این تغییر مساوی به انرژی است که برای تغییر مکان چارج به مصرف می‌رسد، یعنی:

$$\Delta U = w ...........(1)$$

اگر کاری که برای تغییر مکان (با سرعت ثابت) چارج برقی انجام می شود مثبت باشد $(w>0)$ ، انرژی پوتانشیل چارج افزایش می‌یابد، یعنی $\Delta u > 0$ و $u_2 > u_1$ می‌شود. هر گاه کار اجرا شده منفی باشد $(w<0)$، انرژی پوتانشیل چارج کاهش می‌یابد، یعنی $\Delta u < 0$ و $u_2 < u_1$ است. در این جا $u_1$ انرژی پوتانشیل چارج قبل از تغییر مکان و $u_2$ بعد از تغییر مکان است.

## 6-4-1: مفهوم پوتانشیل برقی

از توضیح فوق با مفهوم انرژی پوتانشیل برقی آشنا شدیم. هرگاه انرژی پوتانشیل بالای چارج واقع شده در ساحهٔ برقی تقسیم گردد، کمیت فزیکی حاصل می‌گردد که تابع توزیع چارج منبع می‌باشد. نسبت انرژی پوتانشیل بر واحد چارج $(\frac{u}{q_o})$ در هر نقطهٔ ساحهٔ برقی دارای عین قیمت می‌باشد، این کمیت $(\frac{u}{q_o})$ به‌نام پوتانشیل برقی (یا به‌صورت ساده پوتانشیل) یاد می‌شود و آن را توسط حرف v نشان می‌دهند؛ بنابراین پوتانشیل برقی در هر نقطهٔ ساحهٔ برقی، عبارت است از:

$$V = \frac{u}{q_o}$$

چون انرژی پوتانشیل برقی یک کمیت مقیاسی است؛ پس پوتانشیل برقی نیز کمیت مقیاسی می‌باشد. پوتانشیل تنها مشخصهٔ ساحه است که تا بع ذرهٔ چارج دار امتحانی است که در ساحه واقع است. انرژی پوتانشیل، مشخصهٔ سیستم چارج و ساحه است که سبب عمل متقابل ساحه و ذرهٔ چارج دار واقع شده در ساحه می‌گردد.





## 6-4-2: تفاوت پوتانشیل

با مفهوم پوتانشیل برقی آشناشدیم؛ هم‌چنان از میخانیک می‌دانیم که هرگاه دو ظرفی که دارای آب باشند، توسط یک نل با یکدیگر وصل گردند آب از ظرفی که پوتانشیل جاذبوی واحد کتلۀ آن بیشتر باشد به ظرف د یگر جاری می‌گردد. در برق نیز، سبب حرکت چارج برقی عبارت از تفاوت در انرژی پوتانشیل برقی چارج واحد بین دو نقطه است که طور ذیل تعریف می‌گردد:

هر گاه یک چارج واحد از نقطۀ اول به نقطۀ دیگر تغییر مکان نماید، تفاوت پوتانشیل بین این دو نقطه مساوی به تفاوت بین انرژی پوتانشیل یک چارج برقی واحد مثبت بین نقاط مذکور می‌باشد؛ بنابراین اگر انرژی پوتانشیل یک چارج مثبت q در یک نقطۀ ساحۀ برقی $u_1$ و در نقطۀ دیگر آن $u_2$ باشد، تفاوت پوتانشیل برقی بین این دو نقطه که توسط $\Delta v$ نشان داده می‌شود از رابطۀ ذیل حاصل می‌گردد:

$$\Delta v = v_2 - v_1 \quad \text{یا} \quad \Delta u = u_2 - u_1$$

با در نظر داشت تفاوت پوتانشیل برقی داریم که:

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q} \text{.............}(2)$$

در این رابطه، u به ژول (J)، q به کولمب (c) و v به ولت (v) اندازه می‌شود.

**مثال:**

تفاوت پوتانشیل بین دو انجام یک بتری، 12v است. اگر یک چارج $+1.5c$ از انجام مثبت بتری الی انجام منفی بتری تغییر مکان نماید، انرژی پوتانشیل برقی چارج چقدر و چگونه تغییر می‌نماید؟

**حل:**

با استفاده از رابطۀ(2) داریم که :

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q}$$

$$\Delta u = q \cdot \Delta v = q(v_- - v_+)$$

$$\Delta u = 1.5(-12) = -18J$$





علامت منفی نشان می‌دهد که انرژی پوتانشیل برقی به اندازهٔ 18J کاهش یافته است، یعنی چارج برقی از پوتانشیل بلند به پوتانشیل پایین تغییر مکان کرده است. $V_-$ پوتانشیل انجام منفی بتری و $V_+$ پو تانشیل انجام مثبت بتری است.
چنانکه در مثال ذکر گردیده است که چارج $+1.5c$ از انجام مثبت بتری به انجام منفی تغییر مکان می‌نماید؛ بنابراین تفاوت $(v_- - v_+)$ , $(-12)$ می‌باشد.

## 6-4-3: رابطه بین پوتانشیل و ساحهٔ برقی

هرگاه چارج $q_o$ در ساحهٔ برقی $\vec{E}$ قرار گیرد، بالای چارج، قوه‌یی عمل می‌نماید که عبارت است از:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

اگر چارج توسط یک قوهٔ خارجی در بین ساحه حرکت داده شود، کار اجرا شده توسط ساحه بالای چارج، مساوی به کار منفی است که توسط قوهٔ خارجی به سبب تغییر مکان آن انجام می‌یابد. این مشابه به حالتی است که در ساحهٔ جاذبهٔ زمین بالای جسمی‌با کتلهٔ m کار اجرا شده توسط قوهٔ خارجی m gh و کار اجرا شده توسط قوهٔ جاذبه $-m\,gh$ می‌باشد.

اگر چارج از محل خود به فاصلهٔ $\Delta s$ تغییر مکان نماید، کار اجرا شده بالای چارج توسط ساحهٔ برقی عبارت است از:

$$F \cdot \Delta s = q\,E \cdot \Delta s$$

چون این کار توسط ساحهٔ برقی اجرا گردیده است، پس انرژی پوتانشیل سیستم ساحهٔ چارج، به اندازهٔ $\Delta u = -q\,E \cdot \Delta s$ تغییر می‌نماید.

برای تغییر مکان چارج از نقطهٔ A به نقطهٔ B تغییر انرژی پوتانشیل ($\Delta u = u_B - u_A$) عبارت است از

$$\Delta u = -\,q\,E\,.\Delta s$$

چون $\frac{\Delta u}{q} = \Delta v$ است؛ بنابرین از رابطهٔ فوق حاصل می‌گردد که:

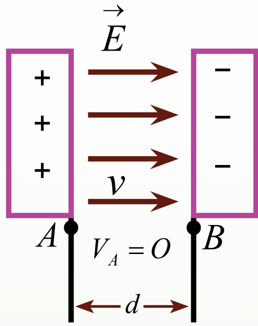
$$\Delta v = E \cdot \Delta s$$

معادلهٔ فوق رابطه بین تفاوت پوتانشیل و ساحه را نشان می‌دهد. در این رابطه، $\Delta s$ فاصله بین A، B است، از این جا معلوم می‌شود که تفاوت پوتانشیل مربوط به موقعیت‌های اول و دوم چارج می‌باشد، نه تابع مسیر تغییر مکان چارج.





**مثال**: یک پروتون از حالت سکون در بین ساحهٔ منظم برقی $8.0\times10^4\ \frac{v}{m}$ رها می‌گردد، شکل (6-13).



شکل (6-13)

پروتون در جهت ساحهٔ برقی به اندازهٔ 0.50m تغییر مکان می‌نماید.

a. تفاوت پوتانشیل را بین نقاط A و B در یافت نمایید.

**حل**: چون پروتون (چارج مثبت) در جهت ساحهٔ برقی حرکت می‌نماید،پس حرکت آن باید به‌طرف موقعیت پوتانشیل پایین باشد.

بنابراین داریم که:

$$\Delta v = -E\,d = -(8.0\times10^4\ \frac{v}{m})(0.50m) = -4.0\times10^4 v$$

b. تفاوت انرژی پوتانشیل سیستم پروتون- ساحه را برای این تغییر مکان در یافت نمایید.

**حل**: با استفاده از معادله $\Delta u = q\cdot\Delta v$ می‌توانیم بنویسیم که:

$$\Delta u = q_p.\Delta v = e.\,\Delta v$$
$$= (1.6\times10^{-19}\,c)(-4.0\times10^4\,v)$$
$$= -6.4\times10^{-15}\,J$$

علامت منفی بیان می‌کند وقتی‌که پروتون در جهت ساحهٔ برقی حرکت می‌کند، از انرژی پوتانشیل آن کاسته می‌شود. زمانی‌که پروتون در جهت ساحه تعجیل می‌گیرد، انرژی حرکی آن تزاید و در عین زمان انرژی پوتانشیل آن کاهش می‌یابد.

## تطبیقات

در نقطه‌یی که از چارج $2\,\mu c$ به فاصلهٔ 20cm واقع است، پوتانشیل مطلقه را دریافت نمایید.

**حل:** چون $r = 20\,cm = 0.2m$ و $q = 2\mu c = 2\times10^6\,c$ است.

از این جا

$$v = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{q}{r}$$

$$v = 9\times10^9\ N.m^2/c^2\ \frac{2\times10^{-6}c}{0.20m} = 90000v$$





## 6-5: خازن

سیستمی متشکل از دو هادی که توسط یک عایق از همدیگر جدا شده باشد خازن گفته می شود، شکل (6-14). خازن می‌تواند یک اندازه چارج برقی ذخیره نماید و در وقت ضرورت آن را به سرکت بدهد. هر خازن یک ظرفیت دارد و این‌که ظرفیت چیست آن را قرار ذیل مطالعه می‌نماییم.



شکل (6-14) انواع مختلف خازن

### 6-5-1: مفهوم ظرفیت

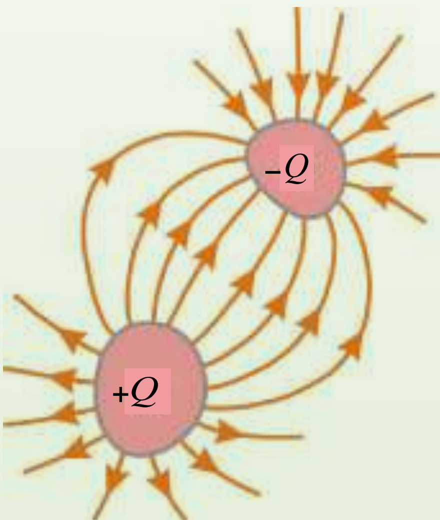
دو هادی را در نظر می‌گیریم که دارای چارج‌های مساوی و مختلف العلامت باشند، چنانکه در شکل (6-15) نشان داده شده است. این نوع ساختمان دو هادی را خازن گویند. هادی‌ها را به نام لوحه‌ها یاد می‌کنند. در هادی به سبب ذخیرهٔ چارج‌ها بین آن‌ها تفاوت پوتانشیل $\Delta v$ به‌وجود می‌آید. تجربه نشان می‌دهد، مقدار چارج $Q$ که بالای خازن ذخیره می‌شود متناسب به تفاوت پوتانشیل بین هادی‌ها می‌باشد، یعنی:

$$Q = c \cdot \Delta v$$

تناسب مربوط به شکل‌هادی‌ها و فاصله بین شان ثابت می‌باشد.

این رابطه را می‌توانیم چنین بنویسیم:

در این جا c را ظرفیت خازن گویند و چنین تعریف می‌شود:




شکل (6-15)

نسبت چارج هرهادی بر تفاوت پوتانشیل بین‌هادی‌ها به‌حیث ظرفیت خازن تعریف شده است.

$$c = \frac{Q}{\Delta v} .........(1)$$

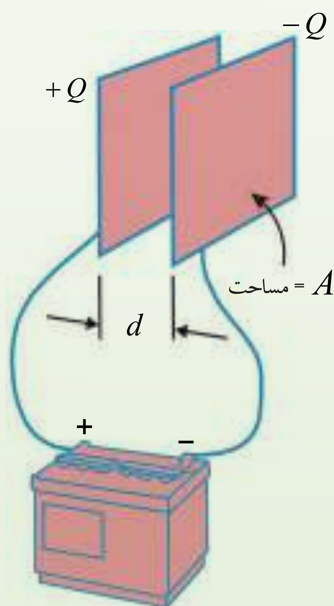
گفتنی‌است که به اساس تعریف، ظرفیت همیشه یک کمیت مثبت است. برعلاوه در رابطهٔ فوق (1) چارج و تفاوت پوتانشیل همیشه کمیت‌های مثبت می‌باشند.

چون تفاوت پوتانشیل به نسبت چارج ذخیره شده به‌طور خطی تزاید می‌نماید، پس نسبت $\frac{Q}{\Delta v}$ برای یک خازن معین ثابت است؛ بنابراین ظرفیت خازن عبارت از قابلیت مقدار ذخیرهٔ چارج می‌باشد. از رابطهٔ فوق (1) می‌بینیم که واحد ظرفیت در سیستم SI کولمب برولت است که به‌نام فاراد(Farad) یاد می‌شود، که نام عالم انگلیسی مایکل فاراد می‌باشد.

فاراد واحد خیلی بزرگ ظرفیت است. در عمل ظرفیت آله‌های معمولی از مایکروفاراد الی پیکوفاراد $(10^{-12}F)$ می‌باشد. ما برای مایکروفاراد سمبول $\mu F$ را به‌کار می‌بریم و برای پیکوفاراد pF را می‌نویسیم.

## 6-5-2: خازن لوحه‌های موازی

مطابق شکل(6-16) دو لوحهٔ موازی فلزی را در نظر می‌گیریم که دارای مساحت A و فاصله بین شان d باشد. یک لوحه دارای چارج +Q ولوحهٔ دیگرآن دارای چارج -Q می‌باشد. حال مطالعه می‌نماییم که ساختمان هندسی این‌هادی‌ها در ذخیرهٔ چارج چه اثر دارد.



شکل (6-16)

برای این مقصد خازن لوحه‌های موازی را با بتری وصل می‌کنیم. و یک مرتبهٔ دیگر یادآور می‌شویم که چارج‌های هم علامت یکدیگر را دفع می‌نمایند.

وقتی‌که لوحه‌های خازن به بتری وصل گردید، خازن به چارج شدن آغاز می‌نماید، الکترون‌ها به آن لوحه‌یی جاری می‌شود که به انجام منفی بتری وصل است و از آن لوحه‌یی خارج می‌شود که به انجام مثبت بتری اتصال دارد. به هر اندازه که مساحت لوحه‌ها زیاد باشد، در تفاوت پوتانشیل معین بالای یک لوحه مقدار چارج

ذخیره شده نیز زیاد می‌باشد؛ بنا بر آن گفته می‌توانیم که ظرفیت با مساحت لوحه‌ها (A) متناسب است، یعنی: $(C \sim A)$

حال فاصله‌یی را در نظر می‌گیریم که لوحه‌ها را از همدیگر جدا می‌سازد. هر گاه تفاوت پوتانشیل بین انجام‌های بتری ثابت باشد، پس زمانی‌که d کاهش می‌یابد باید ساحهٔ برقی بین لوحه‌ها زیاد گردد. فرض می‌نماییم که ما لوحه‌ها را با یکدیگر نزدیک می‌کنیم و حالت قبلی چارج را مطالعه می‌نماییم که می‌تواند در مقابل این تغییر حرکت نماید. چون هیچ چارج حرکت نمی‌کند، ساحهٔ برقی بین لوحه‌ها دارای عین قیمت می‌باشد، مگر نسبت به حالت قبلی در فاصلهٔ کوتاه تر امتداد می‌داشته باشد؛ بنابراین تفاوت پوتانشیل بین لوحه‌ها، نسبت به قبل کوچک می‌شود. حال تفاوت پوتانشیل بین انجام‌های سیم‌های که بتری را با خازن وصل می‌نماید، به‌حیث تفاوت بین ولتیج این خازن جدید و ولتیج انجام‌های بتری وجود دارد. به سبب این تفاوت پوتانشیل در سیم‌ها ساحهٔ برقی به‌وجود می‌آید که چارج‌های بیشتر را به طرف لوحه‌ها انتقال می‌دهد و بین لوحه‌ها سبب ازدیاد تفاوت پوتانشیل می‌گردد. زمانی‌که تفاوت پوتانشیل بین لوحه‌ها به اندازهٔ بتری گردد، تفاوت پوتانشیل بین سیم‌ها صفر می‌شود و جریان چارج‌ها توقف می‌نماید؛ بنابراین با نزدیک کردن لوحه‌ها بالای خازن، چارج تزاید می‌نماید. هر گاه d زیاد گردد، چارج کاسته می‌شود. در نتیجه، گفته می‌توانیم که ظرفیت خازن لوحه‌های موازی با d رابطهٔ معکوس دارد، یعنی: $c \sim \frac{1}{d}$

اگر بین دو لوحهٔ خازن خلا باشد، ظرفیت خازن لوحه‌های موازی از رابطهٔ $c = \varepsilon_o \frac{A}{d}$ حاصل می گردد:

در این رابطه، $\varepsilon_o$ ضریب نفوذ برقی در خلا است.

در این جا A به متر مربع، d به متر و c توسط فاراد اندازه می‌شود.

اگر فضای بین دو لوحه‌های خازن موازی، توسط عایق (دای الکتریک) مانند شیشه یا پارافین مملو گردد، ظرفیت خازن تزاید می‌نماید. در این حالت ظرفیت خازن از را بطهٔ ذیل حاصل می‌شود.

$$c = k\varepsilon_o \frac{A}{d}$$

در این رابطه k یک کمیت بدون بعد است که آن‌را ثابت عایق گویند. ثابت عایق مربوط به عایق می‌باشد. اگر بین دو لوحه خلا باشد K=1 است.

**مثال**: یک خازن لوحه‌های موازی را با یک بتری که دارای تفاوت پوتانشیل $24v$ است وصل می‌نماییم. هر گاه بالای لوحه‌های خازن $120\mu c$ چارج ذخیره شود، ظرفیت خازن را حساب





نمایید. اگر خازن در انجام‌های بتری وصل گردد که دارای تفاوت پوتانشیل $36v$ باشد، مقدار چارج ذخیره شده در آن چند خواهد شد؟

**حل**: با استفاده از رابطهٔ $c = \frac{q}{\Delta v}$ داریم که:

$$c = \frac{1.2\times10^{-4}c}{24\ v}$$

$$c = 5\times10^{-6}F = 5\mu F$$

رابطهٔ فوق را می‌توانیم به شکل $q = c.v$ بنویسیم. و با استفاده از این رابطه داریم که:

$$q = 5\times36 = 180\mu c$$

**مثال**: یک خازن لوحه‌های موازی را به فاصلهٔ $1.5\times10^{-3}m$ در نظر بگیرید که دارای شکل مستطیل بوده، طول آن 60cm و عرض آن 20cm باشد. اگر فضای بین لوحه‌های این خازن مملو از مادهٔ عایقی باشد که دارای ثابت عایق 10 باشد. ظرفیت این خازن را محاسبه نمایید.

$$\varepsilon_o \approx 9\times10^{-12}\frac{c^2}{N.m^2}$$

**حل**: با استفاده از رابطهٔ $c = k\,\varepsilon_o\frac{A}{d}$ داریم که:

$$c = 10\times9\times10^{-12}\times\frac{20\times60\times10^{-4}}{1.5\times10^{-3}}$$

$$c = 7.2\times10^{-9}F = 7.2\eta F$$

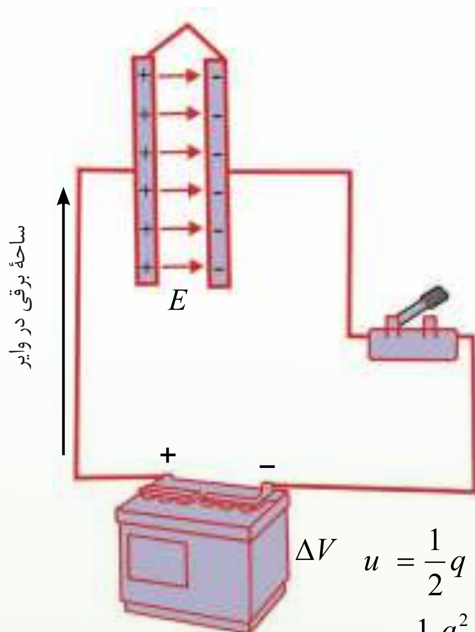
## 6-5-3: انرژی یک خازن چارج دار

شکل (6-17) بتری را نشان می‌دهد که در یک سرکت با یک خازن لوحه‌های موازی از طریق یک سویچ وصل گردیده است. وقتی‌که سویچ وصل گردد، بتری در سیم‌ها ساحهٔ برقی را تولید می‌نماید و بین سیم‌ها و خازن، چارج‌ها به حرکت می‌افتد. زمانی‌که این حالت واقع می‌شود در داخل سیستم، انرژی انتقال می‌گردد. قبل از این‌که سویچ وصل گردد این انرژی به شکل انرژی کیمیاوی در بتری ذخیره می‌باشد. این انرژی زمانی انتقال می‌گردد که بتری در سرکت در حال فعالیت باشد و در داخل بتری تعامل کیمیاوی صورت بگیرد. و قتی‌که سویچ وصل شود، یک اندازه انرژی کیمیاوی بتری به انرژی پوتانشیل برقی دارای چارج‌های مثبت و منفی مربوط بالای لوحه‌ها تبدیل می‌گردد. در نتیجه، گفته می‌توانیم که





بر علاوهٔ چارج، انرژی نیز ذخیره می کند. در حقیقت همان انرژی را که بتری برای چارج خازن به مصرف می‌رساند، در خازن به شکل انرژی پوتانشیل برقی ذخیره می‌شود. خازن این انرژی را در یک سرکت در ضمن از دست دادن چارج، ضایع می کند. انرژی ذخیره شدهٔ خازن را می‌توانیم توسط رابطهٔ ذیل محاسبه نماییم.




شکل (6-17)

$$u=\frac{1}{2}q\Delta V=\frac{1}{2}cv^2=\frac{1}{2}c\frac{q^2}{c}$$

$$u=\frac{1}{2}\frac{q^2}{c}$$

**مثال:** خازنی را که دارای ظرفیت $6\times10^{-6}F$ است با ولیتج 200 ولت وصل می‌کنیم. چارج وانرژی ذخیره شده را در خازن محاسبه نمایید.

**حل:** با استفاده از روابطه $(1-14)(1-17)$ داریم که:

$$q=cv$$

$$q=6\times10^{-6}\times200$$

$$q=1.2\times10^{-3}c=1.2\,mc$$

$$u=\frac{1}{2}qv$$

$$=\frac{1}{2}\times1.2\times10^{-3}\times200=0.12J$$

## 6-5-4: اتصال خازن‌ها

گاه گاه حالتی رخ می‌دهد که در یک سرکت باید از یک ظرفیت معین استفاده نماییم، مگر آن را به دسترس نداریم. در این حالت می‌توانیم خازن‌ها را با یکدیگر وصل نموده و ظرفیت مورد نیاز را حاصل نماییم؛ هم‌چنان می‌توانیم در یک سرکت عوض چندین خازن از یک خازن استفاده نماییم. این یک دانه خازن را خازن معادل و ظرفیت آن را ظرفیت معادل گویند. ظرفیت معادل چندین خازن، مساوی به ظرفیت این خازن است.

هر گاه در سرکت یک خازن به عوض چند خازن گذاشته شود و به آن ولتیج وصل گردد که چند خازن به آن وصل بوده اند، در این صورت، انرژی ذخیره شده در این خازن مساوی به انرژی ذخیره شده در مجموعهٔ چندین خازن می‌باشد. خازن‌ها یا به‌صورت موازی یا مسلسل با یکدیگر وصل شده می‌توانند.

## الف) اتصال موازی خازن‌ها

اگر خازن‌های $C_1, C_2$ و ..... مطابق شکل (6-18) با یکدیگر وصل شوند، گفته می‌شود که خازن‌ها به‌صورت موازی با هم وصل اند. اگر در انجام‌های این مجموعۀ خازن‌ها ولتیج تطبیق گردد، تفاوت پوتانشیل انجام‌های هر یک از خازن‌ها خواهد بود. مقدار چارج برقی بالای هر خازن عبارت است از:

$$q_1 = c_1 v$$

$$q_2 = c_2 v$$

$$q_3 = c_3 v$$

شکل (6-18)

مقدار چارج ذخیره شده بالای تمام خازن‌ها مساوی است به :

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

اگر یک خازن معادل با ظرفیت $C_{eq}$ با همین ولیتج وصل گردد. چارج ذخیره شده بالای آن $q = C_{eq}\, v$ است. درنتیجه داریم که :

$$q = c_{eq} v$$

$$q_1 + q_2 + q_3 = c_{eq} v$$

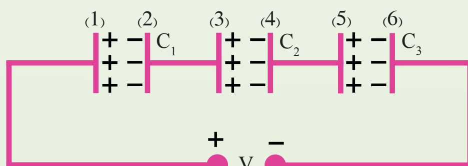
$$(c_1 + c_2 + c_3) v = c_{eq} v$$

$$c_{eq} = c_1 + c_2 + c_3$$

ظرفیت معادل یک ترکیب خازن‌های موازی، مساوی به مجموعۀ ظرفیت‌های همه خازن‌ها بوده و از ظرفیت هر خازن جدا گانه بیشتر می‌باشد.

## ب) اتصال مسلسل خازن‌ها

در شکل (6-19) ذیل سه خازن به‌صورت مسلسل با یکدیگر وصل گردیده اند. هر گاه یک اتصال مسلسل خازن‌ها به یک ولیتج وصل گردد، دیده می‌شود که هیچ کدام از این خازن‌ها به‌طور مستقل با ولیتج V وصل نمی‌باشد.




شکل (6-19)

اگر بالای لوحهٔ (1) چارج $+q$ ذخیره شود، بالای لوحهٔ (2)، چارج $-q$ القا می‌گردد؛ بنابر این بالای لوحهٔ (3)، چارج $+q$ ذخیره می‌شود. به این ترتیب چارج هر خازن با $q$ برابر است؛ هم‌چنان چارج ذخیره شده بالای مجموعهٔ خازن‌ها نیز $q$ می‌باشد. اگر ولتیج خازن‌ها به ترتیب، $v_1$ , $v_2$ و $v_3$ باشد، ولتیج انجام‌های سرکت مساوی به مجموعهٔ ولتیج‌های انجام‌های خازن‌ها می‌باشد.

$$v = v_1 + v_2 + v_3$$

اگر عوض $v_1$ ، $v_2$، و ...... قیمت‌های مساوی آن‌ها را از رابطهٔ $v_1 = \frac{q}{c_1}$ , $v_2 = \frac{q}{c_2}$ وضع نماییم، نتیجه می‌شود که:

$$v = \frac{q}{c_1} + \frac{q}{c_2} + \frac{q}{c_3}$$

اگر $C_{eq}$ ظرفیت معادل باشد، زمانی‌که باولیتج v وصل گردد، چارج آن نیز مساوی به q خواهد بود. و در نتیجه چون $v = \frac{q}{C_{eq}}$ است. با وضع کردن $\frac{q}{C_{eq}}$ به عوض v نتیجه می‌شود که:

$$\frac{q}{c_{eq}} = \frac{q}{c_1} + \frac{q}{c_2} + \frac{q}{c_3}$$

و یا:

$$\frac{1}{c_{eq}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}$$

بنابراین، هر گاه خازن‌ها با یکدیگر به‌صورت مسلسل وصل شوند، چارج هر خازن مساوی به چارج خازن معادل آن‌ها و معکوس ظرفیت معادل مساوی به حاصل جمع معکوس ظرفیت‌های هر خازن می‌باشد. ظرفیت معادل از کو چکترین ظرفیت آن‌ها هم کو چکتر است.

**مثال:** در انجام‌های یک مجموعهٔ سه خازن که دارای ظرفیت‌های $3\mu F, 6\mu F$ و $2\mu F$ اند و به‌صورت مسلسل با همدیگر وصل اند. ولتیج $150v$ را تطبیق می‌نماییم.

الف) ظرفیت خازن معادل را در یافت نمایید.

ب) چارج هر خازن را حساب نمایید.

ج) ولیتج انجام‌های هر خازن را محاسبه نمایید.





**حل**

الف) با استفاده از رابطهٔ زیر داریم که:

$$\frac{1}{C_{eg}}=\frac{1}{c_1}+\frac{1}{c_2}+\frac{1}{c_3}$$

$$\frac{1}{C_{eg}}=\frac{1}{6\mu F}+\frac{1}{3\mu F}+\frac{1}{2\mu F}$$

$$\frac{1}{C_{eg}}=\frac{1+2+3}{6\mu F}=\frac{6}{6\mu F}=\frac{1}{1\mu F}$$

$$C_{eg}=1\mu F$$

ب) چارج برقی هر خازن مساوی با چارج خازن معادل است.

$$q=c\,v$$

$$q=1\times 150=150\mu c$$

$$q_1=q_2=q_3=q=150\mu c$$

ج) با استفاده از رابطهٔ $q=cv$ داریم که:

$$v=\frac{q}{c}$$

$$v_1=\frac{150}{6}=25v$$

$$v_2=\frac{150}{3}=50v$$

$$v_3=\frac{150}{2}=75v$$

ممکن است در یک سرکت، خازن به‌صورت مغلق با هم وصل گردیده باشند. در این حالت می‌توانیم با استفاده از ترکیب موازی و مسلسل خازن‌ها، ظرفیت‌های خازن‌ها را محاسبه کرده و سرکت را ساده نماییم و در نتیجه ظرفیت معادل را حاصل کنیم.





# خلاصۀ فصل

• چارج‌های هم علامت یکدیگر را دفع و چارج‌های با علامت‌های مختلف یکدیگر را جذب می‌نمایند.

• قانون کولمب بیان می‌کندکه قوۀ جذب یا دفع بین دو ذرۀ چارج دار و با حاصل ضرب چارج‌های هر دو ذره رابطۀ مستقیم و با مربع فاصلۀ بین ذرات رابطۀ معکوس دارد، یعنی:

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

و یا:

$$F = \frac{1}{4\pi \varepsilon_o} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

در این جا $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}$ ثابت تناسب است.

• در هر نقطۀ فضا قوۀ برقی وارده بالای یک چارج واحد مثبت به‌نام ساحۀ برقی در همان نقطه یاد می‌شود، یعنی: $E = \frac{F}{q}$

• خطوط ساحۀ برقی در یک قسمت فضا ساحۀ برقی را به وجود می‌آورد. تعداد خطوطی که از واحد مساحت سطح عمود بالای خطوط عبور می‌کند در همان قسمت متناسب به مقدار E می‌باشد.

• هر گاه چارج q در بین ساحۀ برقی E بین نقاط A و B حرکت نماید، تغییر انرژی پوتانشیل چارج عبارت است از: $\Delta u = -q\, E \cdot \Delta s$

• پوتانشیل $v = \frac{u}{q}$ یک کمیت مقیاسی است و دارای واحد $\frac{J}{c}$ می‌باشد. درحالی‌که $1\frac{J}{c} = 1v$ است.





• در بین یک ساحهٔ برقی E بین نقاط A و B تفاوت پوتانشیل $\Delta v$ طور ذیل تعریف می‌شود:

دراین جا $d = |\vec{s}|$ است.

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q} = -E\,d$$

• خازن عبارت از ساختمان دوهادی است که مقدار چارج‌های مساوی و مختلف العلامت را انتقال می‌دهد.

• نسبت چارج هر هادی خازن بالای تفاوت پوتانشیل (انرژی ذخیره وی) بین‌هادی خازن عبارت از ظرفیت خازن می‌باشد؛ یعنی:

$$c = \frac{q}{\Delta v}$$

واحد ظرفیت در سیستمSI، کولمب بر ولت یا فاراد $(F)$ است، $1F = 1\frac{c}{v}$ .

• هر گاه دو یا بیشتر خازن‌ها به‌طور موازی با هم وصل گردیده باشند، لوحه‌های تمامی آن‌ها دارای عین تفاوت پوتانشیل می‌باشد. ظرفیت معادل ترکیب موازی خازن‌ها عبارت است از:

$$c_{eq} = c_1 + c_2 + c_3 ..........$$

• اگر دو یا بیشتر خازن‌ها به‌طور مسلسل وصل گردیده باشند، تمام خازن‌ها دارای عین مقدار چارج می‌باشند و ظرفیت معادل ترکیب مسلسل خازن‌ها عبارت است از:

$$\frac{1}{c_{eq}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} + ............$$

• انرژی ذخیره شده در یک خازن معادل به انرژی است که درعملیهٔ چارج شدن خارن، چارج‌ها از هادی با پوتانشیل پایین به‌هادی به پوتانشیل بلند انتقال می‌نماید. در خازنی که دارای چارج باشد، انرژی ذخیره شده عبارت است از:

$$u = \frac{q^2}{2c} = \frac{1}{2}Q \,.\, \Delta v = \frac{1}{2}cv^2$$





# سؤالات اخیر فصل

1. شما یک میلۀهادی که دارای چارج منفی است و یک کرۀ هادی بدون چارج را که بالای یک پایۀ عایق گذاشته شده است در اختیار خود دارید. با ترسیم شکل نشان دهید که چگونه می‌توانیم:

الف) کره را مثبت چارج نماییم.

ب) کره را منفی چارج نماییم.

2. دو جسم بدون چارج را چگونه می‌توانیم چارج دار سازیم.

3. اگر فاصله بین چارج نقطه‌یی نصف گردد بالای قوه بین آن‌ها چه واقع می‌شود؟

4. دو چارج نقطه‌یی $+9\mu c$ و $-5\mu c$ به فاصلۀ 50cm از یکدیگر قرار دارند. قوۀ جاذبه‌یی را در یافت نمایید که هرکدام را بالای دیگری وارد می‌نماید.

5. فاصله بین دو الکترون را در حالی دریافت نمایید که قوه بین آن‌ها برابر با وزن یک الکترون باشد.

6. دو چارج $+2\times10^{-7}c$ و $-5\times10^{-6}c$ به فاصلۀ 50cm از همدیگر قرار دارند. نقطه‌یی را در یافت نمایید که در آن ساحۀ تولید شده توسط چارچ‌های متذکره صفر باشد.

7. دو لوحۀ فلزی به فاصلۀ 0.3cm از یکدیگر قرار دارند. آن‌ها با بتری 9v وصل گردیده است. ساحۀ برقی را بین لوحه‌ها دریافت نمایید.

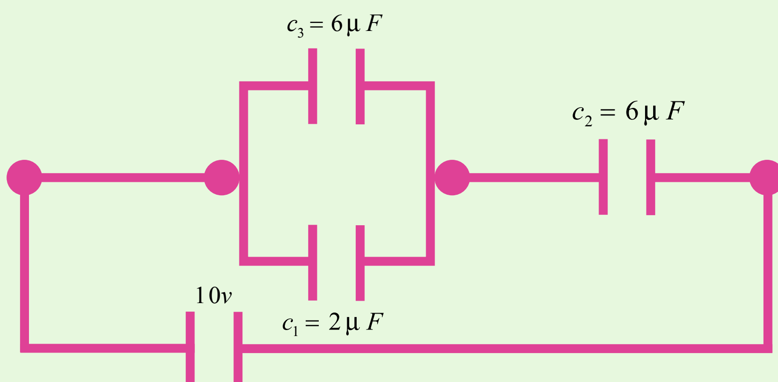




8. به یک خازن که دارای ظرفیت $25\mu F$ است، ولتیج $1000v$ را تطبیق می‌نماییم. چارج را بالای خازن محاسبه نمایید.

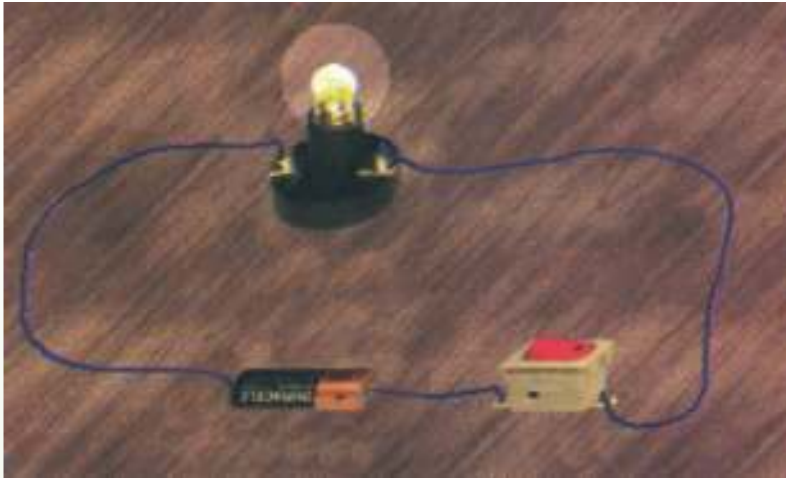
9. یک خازن که دارای ظرفیت $12\mu F$ است تا زمانی چارج می‌شود که تفاوت پوتانشیل بین لوحه‌های آن به $250v$ برسد. انرژی ذخیره شده را در خازن دریافت نمایید.

10. شکل مقابل را در نظر بگیرید. ظرفیت معادل و چارج را بالای هر خازن دریافت نمایید.






# جریان برق و سرکت



در این شکل چه چیز را می‌بینید؟ واضح است که خواهید گفت، بتری، گروپ، سویچ ولین‌ها همین ترکیب را سرکت می‌گویند. در حقیقت شما یک سرکت ساده را می‌بینید. آیا شما فکر کرده اید که در سرکت گروپ چگونه روشن می‌شود؟ حتمی‌خواهید گفت که جریان برق در آن جاری می‌شود. جریان برق چیست؟ در مورد جریان برق بعد در همین فصل بحث خواهد شد. شما توجه نمایید در داخل گروپ یک سیم کوچک فلز مانند وجود دارد که روشن می‌شود. این سیم عبارت از یک مقاومت است؛ بنابر این در مورد مقاومت، انواع مقاومت و ترکیب مقاومت‌ها در سرکت در همین فصل طور مفصل بحث می‌شود. شما می‌بینید و قتی‌که سویچ وصل گردد گروپ روشن می‌شود؛ زیرا که در سرکت چارج‌ها جاری می‌گردد. جاری شدن چارج‌ها سبب روشن شدن گروپ می‌شود؛ پس گفته می‌توانیم که سرکت برقی مسیری است که چارج‌ها در آن جاری می‌شود. در شکل فوق مسیری از یک انجام(ترمینل) بتری از طریق عناصر شامل سرکت تا انجام (ترمینل) دیگر بتری را مسیر مکمل گویند، والکترون‌ها از یک انجام بتری الی انجام دیگر آن از همین طریق حرکت می‌نمایند و گروپ را روشن می‌کند. یعنی مسیر حرکت الکترون‌ها باید یک حلقهٔ بسته باشد. این حلقهٔ بسته را سرکت گویند. اگر در سرکت سویچ را باز نمایید، آیا گروپ روشن می‌شود؟ نخیر، زیرا در این حالت چارج جاری نشده و جریان وجود ندارد.

این حالت را سرکت باز گویند و در صورت سرکت باز گروپ روشن نمی‌شود.

هرگاه از سرکت، بتری را بردارید آیا گروپ روشن باقی می‌ماند؟ واضح است که نخیر. از این جا معلوم می‌شود که بتری در انجام‌های مقاومت تفاوت پوتانشیل را به‌وجود می‌آورد و بالای الکترون قوه وارد نموده و آن‌ها را در سرکت به حرکت می‌اندازد که این را قوهٔ محرکهٔ برقی می‌گویند. در مورد قوهٔ محرکهٔ برقی بعد در همین فصل بحث صورت خواهد گرفت. هر سرکت توسط یک فورمول تدوین می‌گردد و کار می‌کند، بنابراین لازم است که برای یک سرکت معادلهٔ آن را بشناسیم که به نام معادلهٔ سرکت یاد می‌شود. این موضوع نیز در همین فصل مطالعه خواهدشد. هر گاه در یک سرکت ترکیب مقاومت‌ها و منابع یک سرکت مغلق را تشکیل بدهد آن را چگونه می‌توانیم حل نماییم؟ برای حل سرکت مغلق از قانون اول و دوم کرشهوف استفاده می‌گردد. در مورد این قوانین نیز در همین فصل بحث می‌شود؛ هم‌چنان بعضی مثال‌ها و سؤالات حل شده نیز در همین فصل گنجانیده شده است.




شکل (7-1) (مقاومت)گروپ

سرکت فوق توسط دیاگرام ذیل نیز نشان داده می‌شود. در آن بتری توسط دو خط موازی قطب مثبت بتری توسط خط طویل و قطب منفی آن توسط خط کوتاه نشان داده می‌شود.
سویچ و گروپ نیز با سمبول‌های مربوط نشان داده می‌شود. پیشتر ذکرگردید که گروپ توسط جاری شدن جریان برق روشن می‌گردد، این‌که جریان چیست، طور ذیل مطالعه می‌گردد.

## 7-1: جریان برق

دو ظرفی را در نظر بگیرید که توسط یک نل باهم وصل شده باشند، طوری‌که یک ظرف در محل بلند و ظرف دیگر نسبت به آن پایین‌تر گذاشته باشد. اگر در ظرفی که بلند گذاشته شده است آب بریزید، آب به ظرفی که پایین گذاشته شده است جاری خواهد شد. چرا؟ زیرا که تفاوت ارتفاع بین دو ظرف در حقیقت تفاوت انرژی پوتانشیل بین دو ظرف را نشان می‌دهد و سبب جاری شدن آب می‌گردد. به عین ترتیب اگر در انجام‌های یک‌هادی تفاوت پوتانشیل برقی تطبیق گردد که این تفاوت توسط بتری یا منبع دیگری تهیه می‌گردد، ازهادی چارج‌های برقی عبور می‌نماید. اگر در این حالت یک مقطع عرضی‌هادی در نظر گرفته شود، در زمان t





از این مقطع چارج q عبور می‌نماید عبور چارج‌های برقی از هر مقطع عرضی یک‌هادی عبارت از جریان برق می‌باشد. و آن را توسط حرف I نشان می‌دهند، یعنی: $I = \frac{q}{t}$
واحد جریان برق امپیر است و توسط چه نشان داده می‌شود. مطابق قرار داد جهت مثبت جریان در یک سرکت از قطب مثبت به طرف قطب منفی قبول گردیده است. برای اندازه کردن جریان برق از امپیر متر استفاده می‌شود که در سرکت به‌صورت مسلسل وصل می‌گردد.

**مثال**

در یک سرکت 1.2A جریان برق جاری است. در ظرف نیم دقیقه از مقطع عرضی سرکت چند کولمب چارج برقی عبور می‌نماید.

**حل:** چارج برقی متحرک را می‌توانیم از رابطهٔ $I = \frac{q}{t}$ محاسبه نماییم.

$$I = 1.2\,A: \quad t = 0.5s \times 60 = 30s \quad : q = ?$$

$$q = I.t = 1.2\,A \times 30\,s = 36\ cau\ 1$$

برای بیان قانون تحفظ چارج تجربهٔ ذیل را انجام می‌دهیم:

**تجربه**

مواد مورد ضرورت

- بتری 1.5 ولت دو عدد، گروپ 1.5 ولت دو عدد، امپیرمتر یک دانه، سویچ، سیم‌های اتصالی.

**طرز العمل**

- سرکت را مطابق شکل (2-7 الف) وصل نمایید.
- سویچ را وصل نموده و جریان را از امپیرمتر بخوانید.
- محل امپیر متر را مطابق شکل (2-7 ب) تغییر دهید و جریانی را که نشان می‌دهد آن‌را بنویسید.

شما خواهید دید که امپیرمتر






(الف)






(ب)

شکل (2-7)

در هر دو محل عین جریان را نشان می‌دهد و هم‌چنان نتیجه می‌شود که چارج در یک سرکت نه به‌وجود می‌آید و نه هم از بین می‌رود و تعریف جریان برق نیز نشـــان می‌دهد که هر مقدار چارجی وارد هر مقطع عرضی ســـرکت می‌شـــود همان مقدار از مقطـــع عرضی متذکره خارج می‌گردد، بنابرین امپیرمتر در هر محل سرکت عین جریان را نشان می‌دهد.

**سؤال**

آیا شما در ازدحام شهر عقب کاری مهمی‌به عجله رفته اید؟

اگر این کار را کرده باشید پس در وقت رفت و آمد حتماً با مردم دیگر تصادم هم کرده اید. واضح است که در هر تصادم در سرعت حرکت شما کاهش به‌وجود می‌آید و انرژی تان کم می‌شود و احساس گرمی‌می‌نمایید و اجرای کار مهم سبب می‌شود که سرعت حرکت تان را دوباره زیاد نمایید.

به نظر شـــما بین حرکت چارج‌هادی و حرکت یک شـــخص در ازدحام، شباهت وجود دارد؟

در ازدحـــام مقابـــل حرکت یک شـــخص یک نـــوع مقاومت وجود دارد که ســـرعت و انرژی شـــخص را کاهـــش می‌دهد و درهـــادی در مقابل حرکـــت الکترون‌ها اتوم‌ها و مالیکول‌های هـــادی اند کـــه الکترون‌ها با آن‌ها تصادم کرده و انرژی خود را از دســـت می‌دهد.

## تجربه

### مواد مورد ضرورت

- بتــری 1.5 ولت دو عدد، گروپ 1.5 ولت دو عدد،امپیرمتر یک دانه،ســویچ، ســیم‌های اتصالی به اندازه ضرورت

## طرز العمل

1 - بتری ولت، یک دانه گروپ 1.5 ولت و امپیرمتر را مطابق شکل (الف 3-7) وصل نمایید.
2 - سویچ را وصل نمایید و قسمتی را که امپیرمتر نشان می‌دهد آن‌را یاد داشت نمایید.
3 - سویچ را قطع نموده و هر دو گروپ را مطابق شکل( ب 3-7) وصل نمایید.
4 - سویچ را وصل نموده و قسمتی را که امپیرمتر نشان می‌دهد یاد داشت نمایید.



(الف)



(ب)

شکل (3-7)

## نتیجه

با انجام تجربهٔ دوم چنین نتیجه می‌گیریم که روشنی گروپ نسبت به تجربهٔ اول کاهش می‌یابد.

## سؤالات

1 - چگونه می‌توانید گروپ را روشن سازید؟
2 - اگر سویچ را قطع نمایید گروپ روشن باقی می‌ماند؟
3 - عنصری که در یک سرکت انرژی را ضایع می‌نماید به‌نام چه یاد می‌شود؟

## 7-2: **مقاومت**

هر گاه انجام‌های یک‌هادی به یک بتری (منبع) وصل گردد. در انجام‌های‌هادی تفاوت پوتانشیل به‌وجود می‌آید. در نتیجهٔ تطبیق تفاوت پوتانشیل چارج‌های برقی انرژی حاصل کرده و به حرکت آغاز می‌نماید. این چارج‌های متحرک در مسیر خود با اتوم‌های‌هادی که در اطراف نقطهٔ تعادل خود در حال اهتزاز می‌باشـــد تصادم کرده و یک قسمت انرژی خود را از دست می‌دهد. و سبب می‌شود که درجهٔ حرارت‌هادی بلند برود. حرکت چارج‌ها درهادی مشابه به حرکت یک شخص در ازدحام می‌باشد؛ زیرا گفته می‌توانیم که‌هادی دارای مقاومت برقی است.

یعنی جلوگیری از حرکت چارج‌ها در بین‌هادی عبارت از مقاومت برقی می‌باشد. مقاومت برقی را توسط R نشان می‌دهد. واحد مقاومت برقی اوم است و توسط علامت (Ω) نشان داده می‌شود.

این جریان برقی است که به سبب تفاوت پوتانشیل به‌وجود آمده و گروپ را روشن می‌نماید. هر عنصری که در یک سرکت انرژی را ضایع می‌کند به‌نام لود(مصرف کننده) یاد می‌شود.

تجربه نشـــان می‌دهد که تفاوت پوتانشـــیل در انجام‌های یک پارچه‌هادی مستقیم متناسب با جریان می‌باشد یعنی:

$$\Delta v \sim I$$

$$\Delta v = RI$$

$$R = \frac{\Delta v}{I}$$

در ایـــن جا R ثابت تناســـب و مقاومت، هادی اســـت و قیمت آن تابـــع طبیعت، ابعاد و حالت فزیکی‌هادی می‌باشد. رابطهٔ فوق به‌طور ساده تعریف مقاومت است و رابطه بین و لتج، جریان برق و مقاومت را تشکیل می‌دهد. اوم که واحد مقاومت است طور ذیل تعریف می‌گردد.

هرگاه در انجام‌های یک‌هادی تفاوت پوتانشیل یک ولت تطبیق گردد و در آن جریان یک امپیر جاری شود هادی نامبرده دارای مقاومت.یک اوم می‌باشد. اگر I به امپیر و به ولت اندازه شود، R به اوم (Ohm) اندازه می‌گردد. اگر L طول سیم و مقطع آن باشد، مقاومت‌هادی است به:

$$R \sim \frac{L}{A}$$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$





در این جا $\rho$ ثابت تناسب است که به‌نام مقاومت مخصوصه یاد می‌شود و قیمت تابع مادهٔ است که سیم از آن ساخته شده است. چون $\rho = R\frac{A}{L}$ است؛ بنابرین واحد مقاومت مخصوصه اوم متر $Ohm \times m$ داست. گاه گاه برای توضیح خاصیت برقی یک ماده کمیتی دیگری به کار بره می‌شود که به‌نام هدایت مخصوصه یاد می‌شود. هدایت مخصوصه معکوس مقاومت مخصوصه است؛ یعنی $\delta = \frac{1}{\rho}$ هدایت مخصوصه را نشان می‌دهد.

**مثال**

در انجام‌های یک گروپ تفاوت پوتانشیل $220v$ تطبیق شده است. اگر شدت جریان در گروپ 0.44A باشد، مقاومت برقی گروپ را در یافت نمایید.

**حل**

$$V = 220v\ .\ I = 0.44A\ .\ R = ?$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220v}{0.44A} = 500\Omega$$

**سؤالات**

1 - دریک سرکت از مقاومت برای چه استفاده می‌نمایند؟

## 7-2-1: انواع مقاومت‌ها

مقاومت‌ها که به‌نام عناصر سرکت یاد می‌شوند در بسیاری از سرکت‌های برقی جهت کنترول اندازه جریان برق قسمت‌های مختلف سرکت به‌کار برده می‌شود. مقاومت‌های عادی به دو نوع اند: یکی آن مقاومت ترکیبی اســـت که دارای کاربن می‌باشد و دیگرآن مقاومت سیم پیچده شده است. قیمت‌های مقاومت‌ها توسط Ohm به صورت نورمال توسط رنگ‌ها نیز مشخص می‌شود چنانکه در جدول نشان داده شده است.

**جدول رنگ‌های که نشان دهندهٔ قیمت‌های مقاومت‌ها است**

| رنگ | عدد | ضریب | خبط |
|---|---|---|---|
| سیاه | 0 | $1 = 10^0$ | |
| نصواری | 1 | $10^1$ | |
| سرخ | 2 | $10^2$ | |
| نارنجی | 3 | $10^3$ | |

| زرد | 4 | $10^4$ | |
|---|---|---|---|
| سبز | 5 | $10^5$ | |
| نیلی (Blue) | 6 | $10^6$ | |
| بنفش | 7 | $10^7$ | |
| خاکی (Gray) | 8 | $10^8$ | |
| سفید | 9 | $10^9$ | |
| طلایی | | $10^{-1}$ | %5 |
| نقره ای | | $10^{-2}$ | %10 |
| بیرنگ (Color less) | | | %20 |

حال سوال این است که این مقاومت‌ها چگونه در یک سرکت وصل می‌شوند؟

نوت: روش خواندن این‌گونه مقاومت‌ها به تفصیل در شـــمارهٔ (6) درس مربوط کتاب رهنمای معلم وضاحت داده شده است.

## 7-2-2: اتصال مقاومت‌ها

فرض نمایید که با صدا در آوردن زنگ مکتب رخصت شدید و می‌خواهید با هم صنفیان خود از صنف و بعد با گذشتن از صحن مکتب از مکتب خارج شوید. شما دو راه دارید:

1 - می‌توانید از یک دروازهٔ صنف خارج شوید و در صحن مکتب راهی را انتخاب نمایید که در آن گروپ‌های زیادی از شاگردان یکی پی دیگری ایستاد باشند.

2 - هم‌صنفی‌های شما می‌توانند که بعد از خروج از صنف هر یک به طور انفرادی به خاطر عبور از صحن مکتب به راه‌های تقسیم شوند که در آن جا تنها یک گروپ شاگردان ایستاد باشند.

در کدام حالت به وقت کمتر ضرورت است که شما با پیمودن صحن مکتب بیرون شوید؟

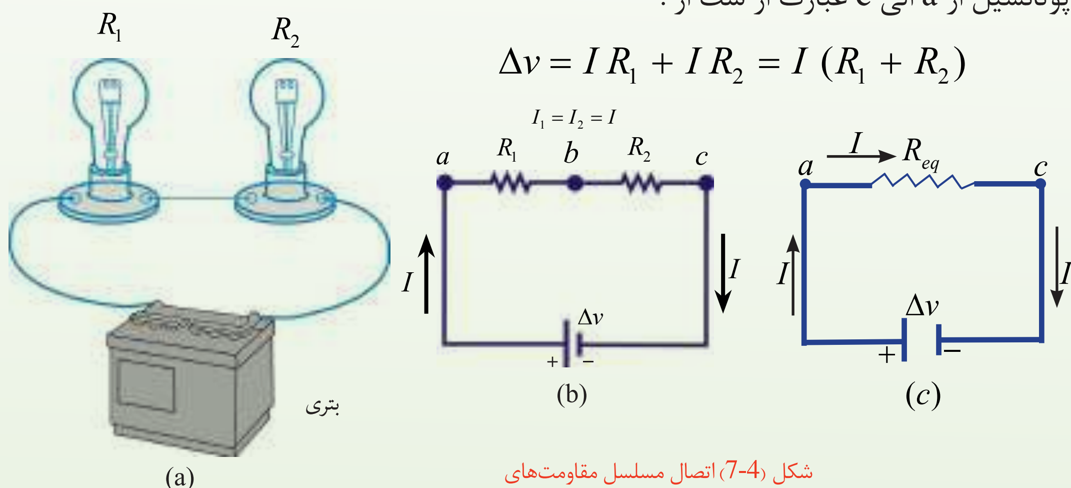
واضح است که پیمودن مسیری وقت کمتر را در برمی‌گیرد که در آن جا تنها یک یک گروپ شـــاگردان ایستاده اند. می‌توانیم مســـیری را که در آن گروپ‌های پی در پی شاگردان ایستاده اند مقاومت‌های مسلســـل و مســـیری را که در آن تنها یک گروپ شـــاگردان ایستاده اند





مقاومت‌های موازی بگوییم، از این مثال ساده می‌توانیم جریان برق را در سرکت‌های در یافت نماییم که دارای مقاومت‌های بیشتر باشند. اگر دو مقاومت ویا بیشتر از آن مطابق گروپهای شکل (7-4a) باهم وصل گردیده باشند آن را اتصال مسلسل گویند. شکل (7-4b) دیاگرام سرکتی را نشان می‌دهد که در آن گروپها مانند مقاومت‌ها با یک بتری وصل گردیده اند. اگر در یک اتصال مسلسل مقدرا چارج Q که از مقاومت $R_1$ خارج گردد باید وارد مقاومت $R_2$ گردد (این مشابه به حالتی است که هم صنفیان شما در صحن مکتب راهی را انتخاب کرده اند که در آن گروپ‌های زیاد شاگردان یکی پی دیگری ایستاده اند). به این سبب است که عین مقدار چارج از هر دو مقاومت در وقت معین عبور می‌نماید؛ بنابراین برای اتصال مسلسل دو مقاومت جریان در دو مقاومت دارای عین مقدار می‌باشد؛ زیرا مقدار چارجی که از مقاومت $R_1$ عبور می‌نماید باید در عین زمان از مقاومت $R_2$ نیز عبور نماید. تفاوت پوتانشیل تطبیق شده در انجام‌های اتصال مسلسل مقاومت بین مقاومت‌ها تقسیم می‌شوند. در شکل (7-4b) تفاوت پوتانشیل از a الی b مساوی به $I\,R_1$ و تفاوت پوتانشیل از b الی c مساوی به $I\,R_2$ است. تفاوت پوتانشیل از a الی c عبارت از ست از :

$$\Delta v = I\,R_1 + I\,R_2 = I\,(R_1 + R_2)$$




شکل (7-4) اتصال مسلسل مقاومت‌های

a- اتصال مسلسل مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ دیاگرام سرکتی با دو مقاومت.

b- دیاگرام سرکتی با دو مقاومت. در $R_{eq} = R_1 + R_2$ جریان عین قیمت را دارا است.

c- یک مقاومت عوض دو مقاومت به‌کار برده شده است که دارای مقاومت معادل $R_g = R_1 + R_1$ می‌باشد.

تفاوت پوتانشیل بتری در انجام‌های مقاومت $R_{eq}$ تطبیق می‌شود؛ چنانکه در شکل (7-4c) نشان داده شده است. $\Delta v = I\,R_{eq}$

در این جا می‌بینیم که مقاومت معادل بالای جریان عین اثری را دارد که در صورت دو مقاومت داشـــت، یعنی اگر $R_{eq}$ به همین بتری وصل گردد عین جریان برق حاصل می‌شود. از ترکیب این دو معادله می‌توانیم عوض اتصال مسلســـل این دو مقاومت یک مقاومت معادل که قیمت آن مساوی به مجموع قیمت‌های آن دو مقاومت باشد وصل نماییم.

$$\Delta v = I R_{eq} = I(R_1 + R_2)$$

$$R_{eq} = (R_1 + R_2)$$

مقاومـــت $R_{eq}$ عبـــارت از مقاومت معادل ترکیب دو $(R_1 + R_2)$ می‌باشـــد، زیرا اگر $R_{eq}$ عوض $R_1 + R_2$ گذاشته شود در سرکت جریان تغییر نمی‌کند. اگر سه مقاومت یا بیشتر از آن به‌صورت مسلسل وصل گردیده باشند مقاومت معادل آن عبارت است از:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

رابطهٔ فوق نشـــان می‌دهد که مقاومت معادل ترکیب مسلســـل مقاومت‌ها از روی عدد مساوی به مجموع هر کدام از مقاومت‌ها می‌باشـــد. ترکیب مقاومت‌ها نسبت به هر کدام از مقاومت‌ها همیشه بزرگتر می‌باشد.

قابل یاد آوری اســـت که هر گاه در شـــکل فوق (7.4)فلمنت یک گروپ قطع گردد. بعد از این ســـرکت وصل نبوده؛ بلکه یک سرکت باز می‌باشد و گروپ دوم نیز خاموش می‌شود. این یک شـــکل عمومی‌سرکت مسلسل اســـت. هرگاه در یک سرکت مسلسل یک آله از بین برود تمام آله‌ها از فعالیت باز می‌ماند.

## سؤالات

1- فرض نمایید که در شـــکل (7.4) چارج‌های مثبت اول از $R_1$ و بعد از $R_2$ عبور می‌کنند. جریان برق در $R_1$ به مقایسهٔ جریان $R_2$:

a: کوچک است b: بزرگ است c: عین چیز است

2- هر گاه در شـــکل(7.4) غرض اتصال نقاط b و c از یک ســـیم اســـتفاده شود، آیا روشنایی گروپ $R_1$:

a: زیاد می‌شود b: کم می‌شود c: عین چیز باقی می‌ماند

**سؤال**

1- سه مقاومت $6.75\Omega$ ، $15.3\Omega$ و $21.6\Omega$ با بتری $12v$ طور مسلسل وصل گردیده اند.

a- مقاومت معادل را محاسبه نمایید.

b- جریان را در سرکت معلوم نمایید.

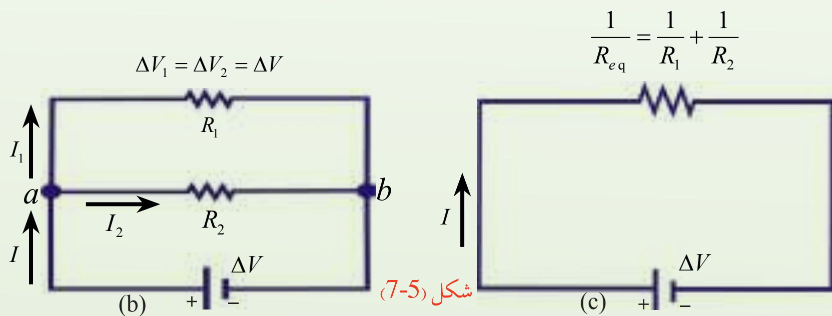
حال دو مقاومت را در نظر می‌گیریم که به‌صورت موازی باهم وصل گردیده باشند؛ چنانکه در شکل (7-5b) نشان داده شده است. وقتی‌که در شکل (7-5a) چارج به نقطهٔ a که به‌نام نقطهٔ انشعاب یاد می‌شود برسد. به دو قسمت جدا می‌شود. یک اندازهٔ آن از طریق $R_2$ و قسمت باقی ماندهٔ آن از طریق $R_1$ عبور می‌نماید. در یک سرکت نقطهٔ انشعاب عبارت از نقطه‌یی است که در آن جریان برق تقسیم می‌گردد (این حالت مشابه به حالتی است که هم صنفیان شما از صحن مکتب از راه‌های زیادی عبور می‌نماید) این تقسیمات سبب می‌شود که جریان در هر مقاومت نسبت به آن کوچکتر است که از بتری منشأ می‌گیرد. و به اساس قانون تحفظ چارج جریان I که وارد نقطهٔ a می‌شود باید مساوی جریانی باشد که از نقطهٔ مذکور خارج می‌گردد، یعنی:

$$I = I_1 + I_2$$

در این جا $I_1$ جریان برق را در $R_1$ , $I_2$ جریان را در مقاومت $R_2$ نشان می‌دهد.



(a)




شکل (7-5)

a- اتصال دو گروپ که دارای مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ اند.

b- دیاگرام سرکت برای دو مقاومت. تفاوت پوتانشیل انجام‌های $R_1$ مساوی به تفاوت پوتانشیل در انجام‌های $R_2$ است.

c- عوض دو مقاومت یک مقاومت گذاشته شده است که به‌نام مقاومت معادل یاد می‌شود.

چنانکه در شـــکل (7-5) دیده می‌شـــود هر دو مقاومت طور مستقیم با بتری وصل است؛ بنابر این اگر مقاومت‌ها به‌طور موازی وصل گردیده باشند، در انجام‌های مقاومت‌ها تفاوت پوتانشیل عین چیز می‌باشد.
چون در انجام‌های مقاومت تفاوت پوتانشـــیل عین چیز می‌باشـــد، پس با در نظر داشت افادهٔ $\Delta v = I\ R$ حاصل می‌شود که:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta v}{R_1} + \frac{\Delta v}{R_2} = \Delta v\,(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$$

$$= \frac{\Delta v}{R_{eq}}$$

در این جا $R_{eq}$ مقاومت معادل است که بالای سرکت همان اثری دارد که دو مقاومت موازی دارد، یعنی در سرکت جریان مجموعی ثابت باقی می‌ماند (7-5c) از این جا مقاومت معادل دو مقاومت موازی عبارت است از:

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{eg} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1\ R_2}{R_1 + R_2}$$

برای سه مقاومت و یا بیشتر از آن رابطهٔ فوق را می‌توان چنین تحریر کرد.

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ \ldots$$

از این افاده دیده می‌شود که معکوس مقاومت معادل دو یا بیشتر مقاومت‌های موازی مساوی به مجموع معکوس هر کدام مقاومت‌ها می‌باشـــد. برعلاوه، مقاومت معادل همیشـــه نسبت به کوچکترین مقاومت این گروپ کوچکتر می‌باشد.
خلاصه نتایج حاصله در مورد ســـرکت‌های مسلســـل و موازی در جـــدول ذیل ترتیب گردیده است.





| | مسلسل | موازی |
|---|---|---|
| سرکت دیاگرام | | |
| جریان برق | $I = I_1 = I_2 = I_3 = ....$ <br> برای هر مقاومت عین قیمت را دارد= | $I = I_1 + I_2 + I_3 + ....$ <br> حاصل جمع جریان‌ها |
| تفاوت پوتانشیل | $\Delta v = \Delta v_1 + \Delta v_2 + \Delta v_3 + ....$ <br> مجوعهٔ تفاوت‌های پوتانشیل | $\Delta v = \Delta v_1 = \Delta v_2 = \Delta v_3 \; ....$ <br> برای هر مقاومت عین قیمت را دارد |
| مقاومت معادل | $R_{eg} = R_1 + R_2 + R_3 + ....$ <br> مجموعهٔ هر کدام مقاومت‌ها | $\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ....$ <br> مجموعهٔ معکوس مقاومت‌ها |

## سؤالات

1- فرض نمایید که شما در شکل (7-4) مقاومت سومی را با آن دو مقاومت طور مسلسل افزود می‌کنید. آیا جریان در بتری:

a. تزاید می‌نماید. b. کاهش می‌یابد. c. ثابت باقی می‌ماند و d. آیا ولیتج انجام‌های بتری تزاید می‌نماید. e. کاهش می‌یابد. f. ثابت باقی می‌ماند.

2- فرض نمایید که شما در شکل (7-6) یک مقاومت سومی‌را با آن دو مقاومت طور موازی وصل نمایید. آیا در بتری جریان برق:

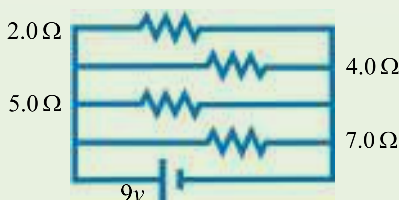
a. تزاید می‌نماید. b. کاهش می‌یابد. c. ثابت باقی می‌ماند.

و آیا ولیتج انجام‌های بتری: d. تزاید می‌نماید. e. کاهش می‌یابد.

f. ثابت باقی می‌ماند.

## مثال

یک بتری 9v با چهار مقاومت مطابق شکل ذیل وصل گردیده اند. مقاومت معادل سرکت و جریان مجموعی را در سرکت در یافت نمایید.



شکل (7-6)

**حل**: کمیات معلوم

$$\Delta v = 9v$$

$$R_1 = 2\Omega\ ,\ R_2 = 4\Omega\ ,\ R_3 = 5\Omega\ ,\ R_4 = 7\Omega$$

کمیات مجهول $R_{eq} = ?\ I = ?$

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}$$

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{70 + 35 + 28 + 20}{140} = \frac{153}{140}$$

$$R_{eg} = \frac{140}{153}\ \Omega$$

$$\mathrm{I} = \frac{\Delta \mathrm{v}}{\mathrm{R_{eg}}} = \frac{9\mathrm{v}}{\frac{140}{153}\Omega} = \frac{9\mathrm{v} \times 153}{140\Omega} = \frac{1377}{140}\mathrm{A}$$

$$\mathrm{I} = 9.83\mathrm{A}$$

## سؤالات

1- یک سیم طویل را به پنج قسمت مساوی قطع می‌نمایند. بعد این پنج قسمت را به‌صورت موازی وصل می‌کنند، که مقاومت محصلهٔ آن $2\Omega$ می‌باشد. قبل از این‌که سیم قطع گردد مقاومت طول ابتدایی سیم چند است.

2-یک مقاومت $4.2\Omega$، مقاومت $8\Omega$ و یک مقاومت $12\Omega$ در انجام‌ها بتری $24v$ به‌صورت موازی وصل گردیده اند.

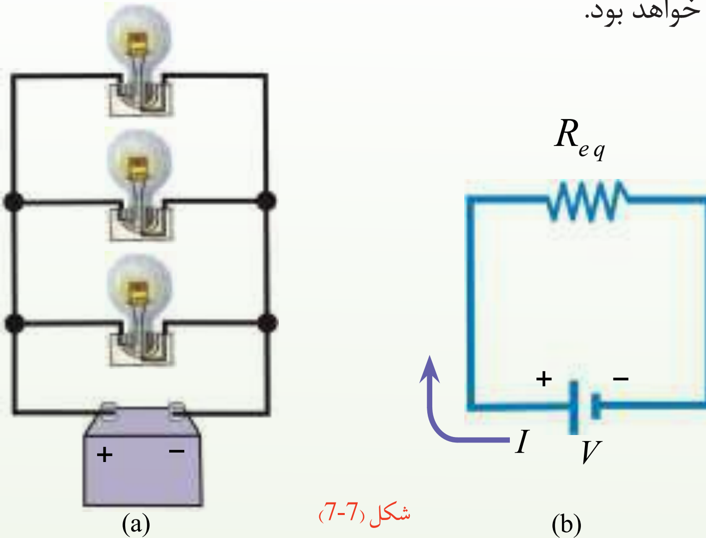
a. قیمت مقاومت معادل سرکت را حساب نمایید.

b. جریان برق را در هر مقاومت معلوم نمایید.

## 7-3: قوهٔ محرکه برقی

به شکل ذیل (7-7) توجه نمایید، هر گاه شما از این سرکت بتری را بردارید آیا گروپ درسرکت روشن باقی خواهد ماند؟

واضح اســت که بدون موجودیت تفاوت پوتانشیل در سرکت نه چارج حرکت خواهد کرد و نه جریان برق موجود خواهد بود.




شکل (7-7)

پــس بــرای این‌که گروپ روشــن باقی بماند باید بــه بتری وصل گردد. هــر آله که در یک ســرکت انرژی پوتانشــیل چــارج متحــرک را زیاد می‌نمایــد، عبارت از منبع قــوهٔ محرکهٔ برقی(Electromotive Force) یا (emf) می‌باشد که توسط $\varepsilon$نشان داده می‌شود. یا به عبارت دیگر، انرژی یک واحد چارج که توسط منبع جریان برق تهیه می‌گردد عبارت از قوهٔ محرکهٔ برقی(emf) می‌باشد. فکر نمایید که این نوع منبع مانند پمپ چارج است که بالای الکترون‌ها قوه وارد می‌نماید تا در یک جهت معین حرکت نمایند. هر گاه انرژی هر چارج $q$ را توسط $w$ نشان دهیم، برای $\varepsilon$ قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) می‌توانیم بنویسیم که: $\varepsilon = \frac{w}{q}$

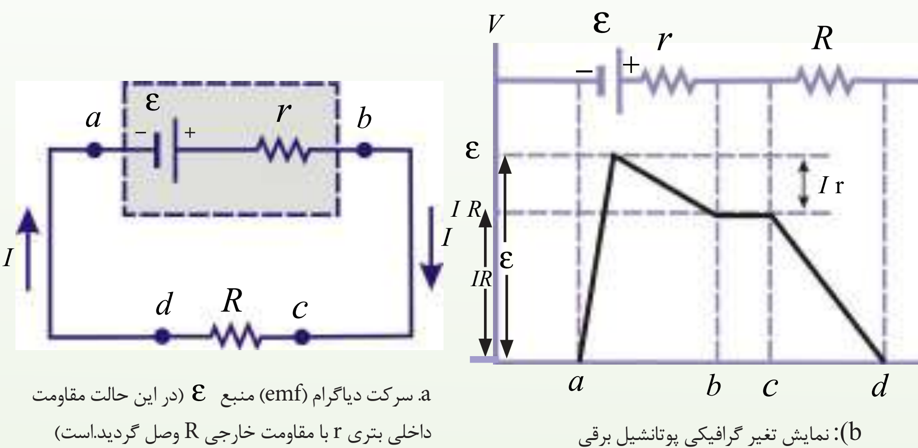
چون قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) تمام چارج‌های یک بتری عبارت از همان ولتیج اعظمی‌ممکنه اســت که یک بتری بین ترمینل‌های خود دارد؛ بنابر ایــن می‌توانیم در رابطهٔ فوق عوض قوهٔ محرکهٔ برقی $\varepsilon$ تفاوت پوتانشیل اعظمی بتری $V$ را چنین بنویسیم:

$$v = \frac{w}{q}$$

بتری‌ها و جنراتورها منابع قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) می‌باشند.
چون بتری خود دارای مقاومت داخلی می‌باشد؛ پس وقتی‌که چارج‌ها در بتری حرکت می‌نمایند تفاوت پوتانشیل انجام‌های بتری (ولیتج ترمینل‌ها) نسبت به (emf) واقعی یک اندازه کاهش می‌یابد. با در نظر داشت مقاومت داخلی بتری معادلهٔ سرکت را چگونه می‌توانیم بنویسیم؟

## 7-4: معادلهٔ سرکت برقی

برای حاصل کردن معادلهٔ سرکت برقی شکل (7-8) را بار دیگر درنظر می گیریم و فرض می‌نماییم که مقاومت سیم‌های اتصال قابل صرف نظر است. سرکت فوق را با در نظر داشت مقاومت داخلی بتری طور ذیل رسم می‌نماییم قطب مثبت بتری نسبت به قطب منفی بتری دارای پوتانشیل بلند است.




a. سرکت دیاگرام (emf) منبع ε (در این حالت مقاومت داخلی بتری r با مقاومت خارجی R وصل گردیده است.)

b): نمایش تغیر گرافیکی پوتانشیل برقی

شکل (7-8)

در سرکتی که جریان موجود باشد تفاوت پوتانشیل انجام‌های بتری آن با (emf) مساوی نمی‌باشد. برای درک آن سرکت دیاگرام (7-8) را در نظر می‌گیریم که در آن قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) بتری با مقاومت داخلی آن نشان داده شده است.

حال فرض می‌نماییم که از a الی b از طریق بتری عبور می‌نماییم و در محل‌های مختلف پوتانشیل برقی را اندازه می‌کنیم. اگر از ترمینل (قطب)منفی به طرف قطب (مثبت) حرکت نماییم، پوتانشیل به اندازهٔ ε زیاد می‌گردد. مگر وقتی‌که از مقاومت $r$ عبور می‌نماییم، پوتانشیل به اندازهٔ $I\,r$ کاهش می‌یابد، درحالی‌که $I$ جریان را در سرکت نشان می‌دهد. از این‌جا ولیتج بتری (تفاوت پوتانشیل بین ترمینل‌های بتری) $\Delta v = v_b - v_a$ عبارت است از:

$$\Delta v = I\,R = \varepsilon - I\,r \ldots\ldots(1)$$

از این رابطه واضح می‌گردد که $Ir$ مساوی با ولیتج سرکت باز است، یعنی این در حالی ولیتج ترمینل‌های بتری را نشان می‌دهد که جریان صفر باشد.

شکل (7-8b) نمایش گرافیکی تغییرات تفاوت پوتانشیل را در سرکت نشان می‌دهد. از شکل (7-8a) دیده می‌شـــود که ولیتج ترمینل‌های بتری $(\Delta v)$ باید با تفاوت پوتانشـــیل انجام‌های مقاومت $R$ مســـاوی باشـــد. مقاومت به حیث یک بار(Load) بـــرای فعالیت آله، انرژی تهیه می‌نمایـــد. در انجـــام این مقاومت مصرف کننده (بار) تفاوت پوتانشـــیل $\Delta v = I\,R$ اســـت. با درنظرداشت این افاده از معادله (1) حاصل می‌نماییم که:

$$\varepsilon = IR + Ir \quad ........(2)$$ (ولتیج داخلی بتری)

برای جریان $I$ دریافت می‌نماییم که:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$ (جریان کل)

این افاده معادلهٔ سرکت برقی است.

رابطهٔ فوق نشـــان می‌دهد که جریان در این ســـرکت ساده تابع مقاومت مصرف کنندهٔ $R$ که برای بتری مقاومت خارجی است و مقاومت داخلی $r$ می‌باشد. اگر $R$ نسبت به $r$ خیلی بزرگ باشـــد، می‌توانیم از $r$ صرف نظر نماییم. اگر در یک ســـرکت از تعداد زیاد مقاومت‌های مصرف کننده و بتری‌ها استفاده شده باشد، را بطهٔ فوق را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$I = \frac{\Sigma\varepsilon}{\Sigma R + \Sigma r} \quad .........(3)$$

هر گاه از $r$ به نسبت کوچک بودن آن صرف نظر نماییم داریم که:

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R}$$

اگر هر دو طرف این معادله را به $I$ ضرب نماییم حاصل می‌شودکه:

$I\varepsilon = I^2 R + I^2 r$ رابطهٔ فوق نشان می‌دهد که طاقتی که توسط بتری تولید می‌شود در $R$ و $r$ ضایع می‌گردد.

**مثال**: emf بتری، $12v$ و مقاومت داخلی آن $0.05\,\Omega$ است. انجام‌های بتری با مقاومت مصرف کننده $3\Omega$ وصل می‌شود.

جریان در سرکت و ولیتج انجام‌های بتری (تفاوت پوتانشیل) را در یافت نمایید.

**حل**: چون جریان در سرکت عبارت است از:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$





پس:

$$I = \frac{12v}{3\Omega + 0.05\Omega}$$

$$I = \frac{12v}{3.05\Omega}$$

$$I = 3.93A$$

و

$$v = \varepsilon - Ir$$

$$v = 12 - (3.93A)(0.05\Omega$$

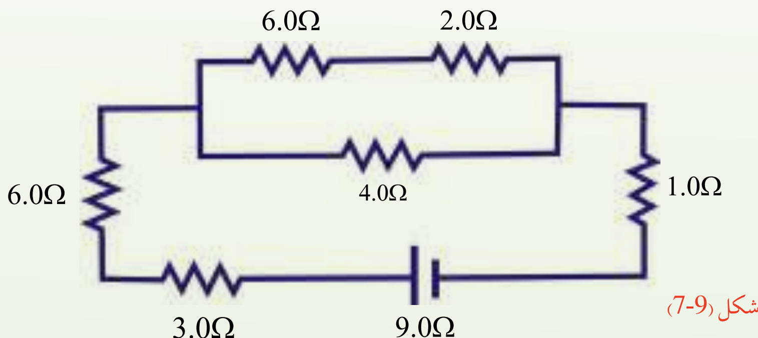
$$v = 11.79v$$

با استفاده از این قیمت می‌توانیم تفاوت پوتانشیل انجام‌های مقاومت مصرف کنندۀ $R$ را محاسبه نماییم:

$$v = I\,R = (3.93A)\,(3\Omega) = 11.8v$$

## 7-5: تطبیقات

1. مقاومت معادل سرکت مغلق ذیل را در یافت نمایید.




شکل (9-7)

**حل**: برای در یافت مقاومت معادل سرکت طریقۀ بهتر این است که سرکت را به گروپ‌های مقاومت‌های مسلسل و موازی تقسیم نماییم و بعد برای هر گروپ، مقاومت معادل آن را محاسبه نمایید. برای رسیدن به این مقصد سرکت را بار دیگر مانند یک گروپ مقاومت‌ها یک طرف رسم می‌نماییم. چون موقعیت‌ها بالای سرکت اثر ندارد، پس لازم نیست که در دیاگرام سیتماتیکی نشان داده شوند. سرکت را بدون در نظرداشت موقعیت‌ها بار دیگر رسم می‌نماییم، طوری‌که ترتیب عناصر سرکت در آن حفظ گردیده باشد چنان‌چه در رسم ذیل نشان داده شده است.

• ترکیب مسلسل را تعیین نموده و مقاومت معادل را محاسبه می‌نماییم.

مقاومت‌های گروپ (a) و (b) به‌طور مسلسل می‌باشد.

برای گروپ (a): $R_{eq} = 3.0\Omega + 6.0\Omega = 9.0\Omega$

برای گروپ (b): $R_{eq} = 6.0\Omega + 2.0\Omega = 8.0\Omega$

• ترکیب موازی را تعیین نموده و مقاومت معادل آن را محاسبه می‌نماییم.

مقاومت‌های گروپ (c) موازی اند.

برای گروپ (c): $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{8.0\Omega} + \frac{1}{4.0\Omega} = 0.12\Omega + 0.25\Omega = 0.37\Omega$

$$R_{eq} = \frac{1}{0.37}\Omega$$

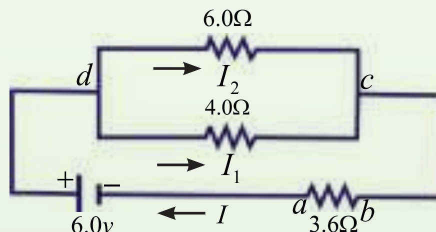
$$= \frac{100}{37}\Omega = 2.7\Omega$$

مراحل فوق را تا زمانی تکرار می‌نماییم که مقاومت‌های سرکت به یک مقاومت کاهش نماید. چنانکه بعداز تعیین گروپ‌های (a)، (b) و (c) مقاومت‌های گروپ (d) باقی می‌ماند که آن‌ها طور مسلسل می‌باشد؛ پس:

برای گروپ (d): $R_{eq} = 9.0\Omega + 2.7\Omega + 1.0\Omega$

$$R_{eq} = 12.7\Omega$$

2. در سرکت ذیل قیمت‌های جریان‌های $I$، $I_1$ و $I_2$ را در یافت نمایید.

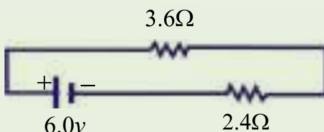



شکل (7-10)

**حل**: اول مقاومت معادل ترکیب موازی مقاومت‌های 4Ω و 6Ω را در یافت می‌نماییم:

$$\frac{1}{R_{eg1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{5}{12}$$

$$R_{dc} = R_{eq1} = \frac{12}{5} = 2.4\Omega$$




شکل (7-11)

چنانکه در شـــکل فوق نشان داده شده است مقاومت‌های $2.4\Omega$ , $3.6\Omega$ طور مثال وصل اند؛ بنابراین:

$$R_{ad} = R_{eq_2} = R_1 + R_2 = 2.4 + 3.6\Omega = 6.0\Omega$$

از این جا:

$$I = \frac{v_{ad}}{R_{ad}} = \frac{6v}{6\Omega} = 1\,Amp$$

برای دریافت $I_1$ و $I_2$ باید تفاوت پوتانشیل بین نقاط d و c را بشناسیم. چون مقاومت معادل مقاومت‌هـــای موازی $2.4\Omega$ اســـت و جریان در ســـرکت یک امپیر اســـت، از این جا تفاوت پوتانشیل $v_{bc}$ عبارت است از:

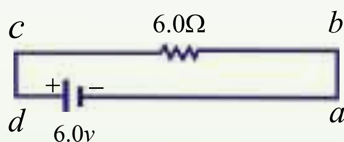
$$V_{dc} = IR_{dc} = 2.4 \times 1 = 2.4v$$

این در انجام‌های مقاومت‌های $4\Omega$ و $6\Omega$ نیز تفاوت پوتانشیل می‌باشد. از آن جا که:

$$I_1 = \frac{v_{dc}}{4} = \frac{2.4}{4} = 0.6A$$

و :

$$Ig = \frac{v_{dc}}{6} = \frac{2.4}{4} = 0.4A$$



شکل (12-7)

دیده می‌شود که مجموعه جریان‌های $I_1$ و $I_2$، $1A$ است که جریان مجموعی را در سرکت نشان می‌دهد.

## سؤال

سرکت‌های خیلی مغلق را چگونه می‌توانیم حل نماییم؟
ســـرکت‌های خیلی پیچیده را می‌توانیم با استفاده از قوانین کرشهوف حل نماییم که طور ذیل مطالعه می‌گردد.

## 7-6: قوانین کرشهوف

طوری‌که دیدیم سرکت‌های ساده را می‌توانیم به وسیلهٔ افادهٔ $\Delta v = I\,R$ و ترکیب مسلسل و موازی مقاومت‌ها حل نماییم. هرگاه یک ســرکت خیلی مغلق باشد، یعنی در آن مقاومت‌ها و چندین منابع طوری وصل گردیده باشدکه حل آن به وسیله قوانین متذکره ناممکن باشد پس آن‌ها را توسط قوانین دیگر که به‌نام قوانین کرشهوف یاد می‌شود حل شده می‌توانند.

### 7-6-1: قانون اول کرشهوف

قانون اول کرشهوف که به‌نام قانون انشعاب نیز یاد می‌شود بیان می‌نمایدکه:
مجموعهٔ تمام جریان‌های که در ســرکت داخل نقطهٔ انشــعاب می‌شوند مساوی به مجموعهٔ جریان‌های است که نقطهٔ انشعاب را ترک می‌نمایند، یعنی:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

نقطهٔ انشعاب در یک سرکت نقطه‌یی را می‌گویندکه در آن مقاومت‌های بیشتر از لین وصل شده باشد.

### 7-6-2: قانون دوم کرشهوف

قانون دوم کرشهوف که به‌نام قانون حلقه یا دورهٔ بسته نیز یاد می‌شود بیان می‌نمایدکه:
مجموعه تفاوت‌های پوتانشــیل انجام‌های تمام عناصر شامل یک حلقهٔ بسته باید مساوی به صفر باشد، یعنی:

$$\sum \Delta v = o$$

قانون اول کرشهوف قانون تحفظ چارج را بیان می‌نماید، یعنی تمام چارج‌های که داخل یک نقطه می‌شوند باید از آن نقطه خارج شوند؛ زیرا چارج نمی‌تواند در نقطه به‌وجود آید. قانون دوم کرشهوف از قانون تحفظ انرژی پیروی می‌نماید.





# خلاصهٔ فصل

• جریان برق: عبور چارج برقی از هر مقطع عرضی یک سرکت عبارت از جریان برق می‌باشد و آن را توسط حرف I نشان می‌دهند، یعنی.

$$I = \frac{q}{t}$$

واحد جریان برق امپیر است که توسط حرف A نشان داده می‌شود.

• مقاومت برقی: جلوگیری از حرکت چارج‌ها در بین‌هادی عبارت از مقاومت برقی می‌باشد. هر عنصری که در یک سرکت انرژی را ضایع می‌کند به‌نام لود (مصرف کننده) یاد می‌شود. در یک سرکت مقاومت برقی با تفاوت پوتانشیل انجام‌های مقاومت و جریان در آن طوری ذیل رابطه دارد.

$$R = \frac{\Delta v}{I}$$

در این جا $R$ عبارت از مقاومت هادی است و واحد آن اوم و یا ( $\frac{volt}{Amp}$ ) می‌باشد.

• مقاومت‌های‌هادی به دو نوع اند.

یکی آن مقاومت ترکیبی است که دارای کاربن می‌باشد و دیگر آن مقاومت سیم پیچیده شده است.





## • اتصال مقاومت‌ها

الف) اتصال مسلسل مقاومت‌ها

در اتصال مسلسل مقاومت‌ها و تفاوت پوتانشیل تطبیق شده بین مقاومت‌ها تقسیم می‌شوند.

$$\Delta v = I\,R_1 + I\,R_2$$
$$= I(R_1 + R_2)$$
$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

و مقاومت معادل در این صورت

ب) در اتصال موازی مقاومت‌ها جریان در نقطهٔ انشعاب تقسیم می‌شود؛ یعنی:

$$I = I_1 + I_2$$

و مقاومت معادل در این صورت عبارت است از:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

• هر آلهٔ که در یک ســرکت انرژی پوتانشــیل چارج متحرک را زیاد می‌نماید عبارت از منبع قوهٔ محرکه برقی(Electromotive Force) یا (emf) می‌باشد که توسط حرف $\varepsilon$ نشان داده می‌شود و یا انرژی یک واحد چارج که توسط منبع جریان برق تهیه می‌گردد عبارت از قوهٔ محرکهٔ برقی(emf) می‌باشــد. هر گاه انرژی هر چارج $q$ را توســط $w$ نشان دهیم، به این قوهٔ محرکهٔ برقی(emf) می‌توانیم بنویسیم که:

$$\varepsilon = \frac{w}{q}$$

که واحد آن ولت می‌باشد.

• معادلهٔ سرکت برقی عبارت است از : $I = \dfrac{\varepsilon}{R + r}$

در این جا $\varepsilon$ قوهٔ محرکهٔ برقی ســرکت، $R$ مقاومت خارجی در ســرکت و $r$ مقاومت داخلی منبع می‌باشد. اگر در یک سرکت از تعداد زیاد مقاومت‌های مصرف کننده و بتری‌ها استفاده شده باشد.





رابطهٔ فوق را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R + \sum r}$$

## • قوانین کرشهوف

الف) قانون اول کرشهوف

مجموعهٔ تمام جریان‌های که در یک ســرکت داخل نقطهٔ انشعاب می‌شوند مساوی به مجموعهٔ جریان‌های است که نقطه انشعاب را ترک می‌نمایند، یعنی:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

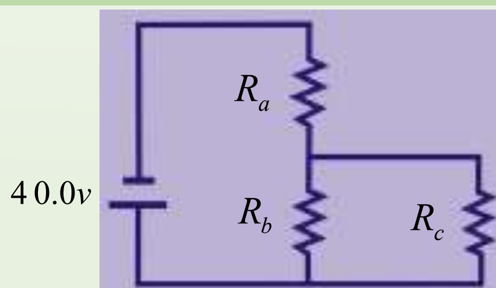
ب) قانون دوم کرشهوف

مجموعه تفاوت‌های پوتانشــیل انجام‌های تمام عناصر شــامل یک حلقهٔ بسته باید مساوی به صفر باشد، یعنی:

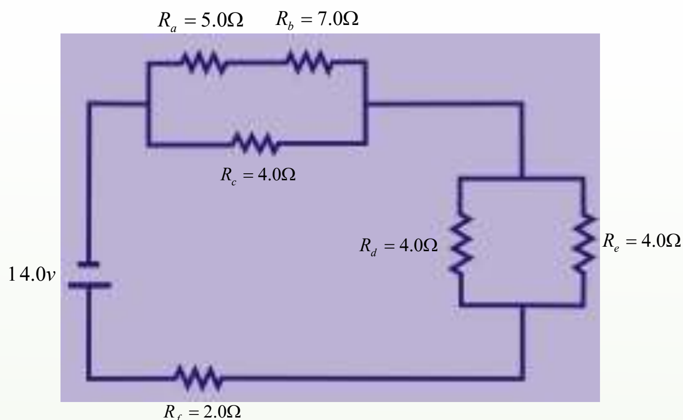
$$\sum \Delta v = o$$

## سؤالات اخیر فصل

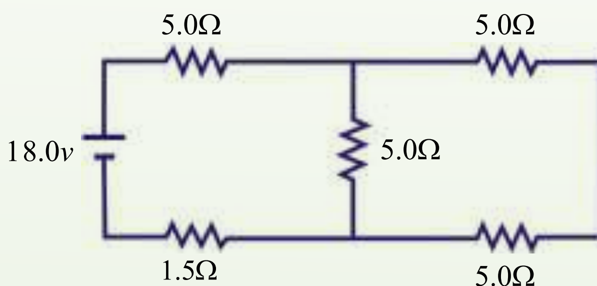
1. برای سرکت ذیل مقاومت معادل آن را محاسبه نمایید.



2. در سرکت ذیل تفاوت پوتانشیل انجام‌های هر مقاومت و جریان آن را محاسبه نمایید.




3. a) مقاومت معادل سرکت مغلق ذیل را در یافت نمایید.




b) در مقاومت $1.5\Omega$ سرکت مغلق فوق جریان برق را در یافت نمایید.

c) در انجام‌های مقاومت $1.5\Omega$ سرکت مغلق فوق تفاوت پوتانشیل را در یافت نمایید.

4. برای عناصر یک سرکت با استفاده از سمبول‌های معیاری سرکت دیاگرام را ترسیم نمایید که دارای یک بتری یک دانه سویچ باز، یک گروپ و یک مقاومت را طور موازی داشته باشد. هر گاه سویچ وصل گردد جهت جریان برق را در سرکت توسط وکتور نشان می‌دهد.

5. در سرکت‌های ذیل تفاوت پوتانشیل انجام‌های هر مقاومت و جریان را در آن دریافت نمایید.

a) یک مقاومت $4\Omega$ و یک مقاومت $12.0\Omega$ با منبع $4.0v$ طور موازی وصل گردیده باشند.

b) یک مقاومت $4\Omega$ و یک مقاومت $12.0\Omega$ با منبع $4.0v$ طور مسلسل وصل گردیده باشند.

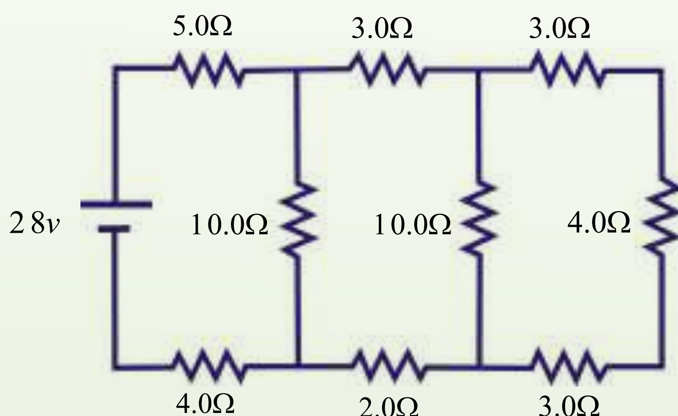
6. ولیتج انجام‌های (ترمینل‌های) یک بتری از emf آن بیشتر است؟ توضیح نمایید که این دو کمیت چرا باهم برابر نیستند؟

7. توضیح نمایید که چرا سرکت شارت می‌شود (آتش می‌گیرد).

8. برای سرکت ذیل.

a) مقاومت معادل سرکت

b) جریان در مقاومت $5.0\Omega$ را دریافت نمایید.



# مقناطیس



اکثر مردم مقناطیس را به خاطر داشتن خاصیت جذب کنندۀ آن می‌شناسند، چنانکـه در شـکل فوق نشـان داده شـده است. ممکن اسـت شما اشکال مختلف مقناطیـس؛ مانند مقناطیس نعل مانند، میلـه مانند و پهن را دیده باشـید، مقناطیـس چیسـت؟ تمام اشـکال مقناطیس، اشـیای آهن دار مانند گیرای کاغـذ و میخ‌ها را جذب می‌نمایند. این جذب در کدام قسمت مقناطیس بیشتر صورت می‌گیرد؟ جذب شدید اشیای آهنی در انجام‌های مقناطیس صورت می‌گیرد و انجام‌های مقناطیس به‌نام قطب‌های مقناطیس یاد می‌شـوند که یکی آن را قطب شمال و دیگر آن قطب جنوب می‌گویند. چرا قطب‌های شمال و جنوب؟ این نام‌ها از عملکرد یک مقناطیس بالای زمین اشتقاق گردیده است، زیرا اگر یک مقناطیس میله مانند از قسمت وسط آن آویزان گردد طوری‌که در یک مستوی افقی طور آزاد دوران کرده بتواند، میله تا زمانی دوران خواهدکرد که جهت‌های شـمال و جنوب مقناطیس را اختیار نماید. در این حالت آن انجام مقناطیس میله مانند که درجهت قطب شمال مقناطیسی زمین قرار دارد،قطب جنوب و انجامی‌که به طرف قطب جنوب مقناطیسـی زمین واقع است به‌نام قطب شمال مقناطیس یاد می‌شود. از مقناطیس در کدام چیزها استفاده می‌شود؟ از مقناطیس در میترها، موتورها و لودسپیکرها استفاده صورت می‌گیرد. مقناطیس‌ها بین هم چگونه عمل متقابل انجام می‌دهند؟ قوۀ مقناطیسی بین دو مقناطیس را می‌توانیم با قوۀ برقی بین دو ذرۀ چارج دار تشبیه نماییم طوری‌که قطب‌های مشـابه دو مقناطیس، یکدیگـر را دفع کرده و قطب‌های مختلف یکدیگر را جذب می‌نمایند؛ بنابر این، قطب شـمال یـک مقناطیس، قطب جنوب مقناطیس دیگر را جذب می‌نماید و اگر دو قطب شـمال (یا قطب‌های جنوب) با یکدیگر نز دیک آورده شـوند یکدیگر را دفع می‌کنند. چنانچه ما می‌توانیم یک چارج برقی جداگانه را داشته باشیم، پس آیا می‌توانیـم یک قطب مقناطیس را حاصل نماییم ؟ اگر یک مقناطیس دایمی‌طور متواتر قطع

گردد، مهم نیســت که چند مرتبه قطع می‌شود، بازهم هر پارچۀ آن همیشه دارای قطب‌های شمال و جنوب خواهد بود؛ زیرا که قطب‌های مقناطیس همیشه یک‌جا بوده و نمی‌توانیم یک قطب مقناطیس را به تنهایی حاصل نمائیم. چون آهن توســط مقناطیس جذب می‌گردد، آیا آهن نیز مقناطیسی شــده می‌تواند؟ بلی. یک پارچۀ آهن مقناطیس ناشده می‌تواند به وسیلۀ مالش با مقناطیس دایمی‌مقناطیس گردد. مقناطیســیت توســط یک مقناطیس نیز القا شده می‌تواند؛ طور مثال، اگر یک پارچۀ آهن مقناطیس ناشــده نزدیک یک مقناطیس دایمی‌قوی گذاشته شود، این پارچۀ آهن مقناطیسی می‌گردد. عکس عملیه نیز شده می‌تواند، یعنی یک آهن مقناطیس شــده توســط حرارت دادن یا سرد ساختن و یا به وسیلۀ چکش زدن می‌تواند مقناطیسیت خودرا از دست دهد.

ســؤال این است که آهن مقناطیس شــده تا چه زمانی مقناطیس باقیمانده می‌تواند ؟ از نظر مقناطیســیت مواد را به دو طبقه تقســیم می‌نمایند. یک‌دســتۀ آن موادی اندکه به آســانی مقناطیس می‌شوند و هم به آسانی مقناطیسیت خود را از دست می‌دهند، این نو ع مواد را مواد نرم گویند؛ مانند آهن و نوع دیگری آن موادی اند که به سختی مقناطیس می‌شوند و به سختی مقناطیســیت خود را از دســت می‌دهند که این دسته مواد را به نام مواد سخت یاد می‌نمایند مانند کوبالت ونکل. عمل متقابل بین مقناطیس‌ها با استفاده از مفهوم ساحۀ مقناطیسی تشریح می‌شود، پس ساحۀ مقناطیسی چیســت؟ ساحۀ مقناطیسی تنها توسط مقناطیس دایمی به وجود می‌آید و یا جریان برق در یک هادی نیز ســبب تولید ســاحۀ مقناطیسی می‌گردد؟ اگر چنین باشــد پس بین جریان برق و ســاحۀ مقناطیســی رابطه‌یی وجود دارد؛ بنابراین سؤالی طرح می‌گردد که آیا در یک ســاحۀ مقناطیســی بالای یک‌هادی جریان دار قوۀ مقناطیســی عمل می‌نماید؟ اگر توســط یک‌هادی مستقیم جریان دار ســاحۀ مقناطیسی تولید می‌گردد، پس آیا به وسیلۀ کوایل و سولینویید نیز ساحۀ مقناطیسی تولید می‌شود ؟ در این مورد قانون بیوت – ساوارت چگونه بیان می‌نماید؟ با مطالعۀ این فصل برای تمامی‌این سؤالات جواب‌های در یافت می‌گردد. هم‌چنان توقع می‌رود که در اخیر این فصل شــاگردان بدانندکه یک کوایل انتقال دهندۀ جریان نیز مانند یک مقناطیس عمل می‌نماید.

## 8-1: مقناطیس و ساحۀ مقناطیسی

یونانی‌ها 800 سال قبل از میلاد سنگی را شناختند که عبارت بود از اکساید آن $(Fe_3\ o_4)$ که پارچه‌های آهن را جذب می‌کرد. رابطه بین مقناطیس و جریان برق توسط عالم دنمارکی اورسیتد در سال1819 مشــاهده گردید. موصوف دریافت که در نزدیک یک سیم انتقال دهندۀ جریان برق، عقربۀ قطب نما انحراف می‌نماید. نامبرده از این حادثه نتیجه گرفت که بین جریان برق و

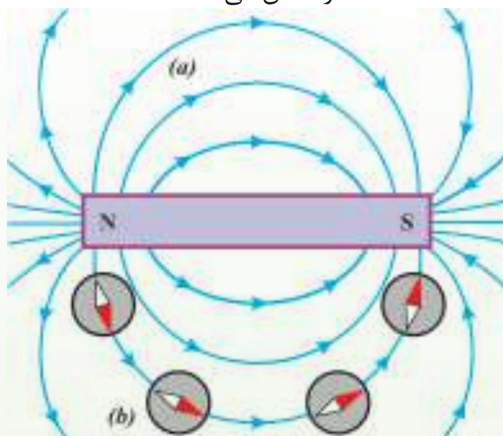




مقناطیس رابطه‌یی وجود دارد. ساحهٔ مقناطیسی چگونه یک کمیت است؟ ساحهٔ مقناطیسی که هر مقناطیس را احاطه کرده است، یک کمیت وکتوری است، یعنی هم مقدار و هم جهت دارد و معمولاً توسط (B) نشان داده می‌شود.

ساحهٔ مقناطیسی چگونه نشان داده می‌شود؟ به‌حیث نمونه ساحهٔ مقناطیسی اطراف یک میلهٔ مقناطیسی را با استفاده از یک قطب نما پیدا کرده می‌توانیم؛ طوری‌که در شکل ذیل نشان داده شده است، هر گاه یک مقناطیس میله مانند کوچک که طور آزاد آویخته شده باشد به یک ساحهٔ مقناطیسی نزدیک آورده شود، مانند عقربهٔ قطب نما با خطوط ساحهٔ مقناطیسی در یک خط واقع می‌گردد. دیده می‌شود که خطوط ساحهٔ مقناطیسی از یک قطب مقناطیس خارج شده و به قطب دیگر مقناطیس داخل می‌گردد. (قبول شده است که از قطب شمال خارج و به قطب جنوب داخل می‌گردد). یعنی که خطوط ساحهٔ مقناطیسی نه آغاز دارد و نه انجام. این خطوط یک حلقهٔ بسته را تشکیل می‌دهند. در مقناطیس دایمی‌خطوط ساحه در داخل خود مقناطیس ادامه پیدا می‌کند تا حلقهٔ بسته را تشکیل بدهد. با لاخره آن فضای نزدیک یک مقناطیسی که در آن جا اثر مقناطیسیت ملاحظه می‌گردد به‌نام ساحهٔ مقناطیسی یاد می‌گردد. انحراف عقربهٔ قطب نما از اثر مقناطیسیت است. چگونه می‌توانیم به شدت ساحهٔ مقناطیسی پی ببریم؟ برای تعیین شدت ساحهٔ مقناطیسی، کمیتی را تعریف می‌نماییم که به‌نام فلکس مقناطیسی یاد می‌شود. فلکس مقناطیسی عبارت از تعداد خطوط ساحه‌یی است که از یک مساحت معین سطح عمود بالای ساحه عبور می‌نماید. فلکس مقناطیسی بوسیلهٔ $\phi m$ نشان داده می‌شود و ذریعهٔ فورمول ذیل محاسبه می‌گردد، که ثبوت این فورمول در فصل نهم صورت می‌گیرد. $\phi_m = A.B.\cos\theta$

a) مقناطیس میله مانند
b) عقربهٔ قطب نما جهت خط ساحه را نشان می‌دهد.



شکل 1-8 ساحهٔ مقناطیسی

(مرکبهٔ عمودی ساحه بالای مساحت سطح) × (مساحت سطح) = فلکس مقناطیسی

چگونه می‌توانیم بدانیم که ساحهٔ مقناطیسی در کدام قسمت مقناطیس قویتر است؟

برای دانستن این موضوع فعالیت ذیل را انجام دهید.

## فعالیت

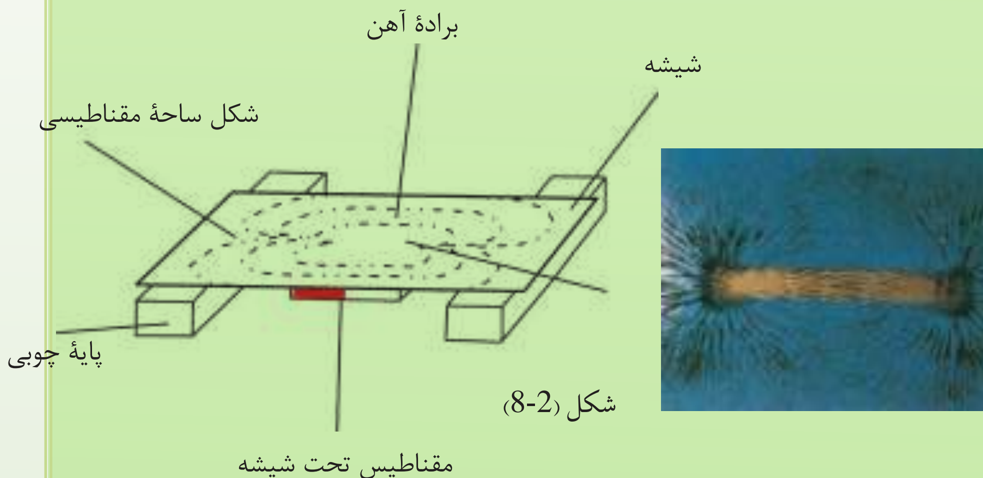
**هدف**: تشخیص ساحهٔ مقناطیسی در قسمت‌های مختلف یک میلهٔ مقناطیسی.

**مواد مورد ضرورت**

میلهٔ مقناطیس و شیشه.

**طرزالعمل**

شیشه را بالای میلهٔ مقناطیسی گذاشته و بر روی شیشه، برادهٔ آهن پاش دهید. شیشه را آهسته ضربه بزنید، شما خواهید دید که برادهٔ آهن روی شیشه به خطوط منحنی تنظیم می‌شود که از یک انجام شروع و به انجام دیگری ختم می‌گردد. دیده می‌شود که این خطوط در انجام‌های میله با هم نزدیک و در قسمت وسط از همدیگر دورتر واقع اند. از اینجا نتیجه می‌شود که ساحهٔ مقناطیسی در انجام‌های مقناطیس قوی و در قسمت وسط آن ضعیف است.




شکل (2-8)

هم‌چنان به خاطر شـــناخت قطب‌های مقناطیسی و دانستن چگونه‌گی عمل متقابل بین شان این فعالیت را انجام می‌دهیم .



**فعالیت**

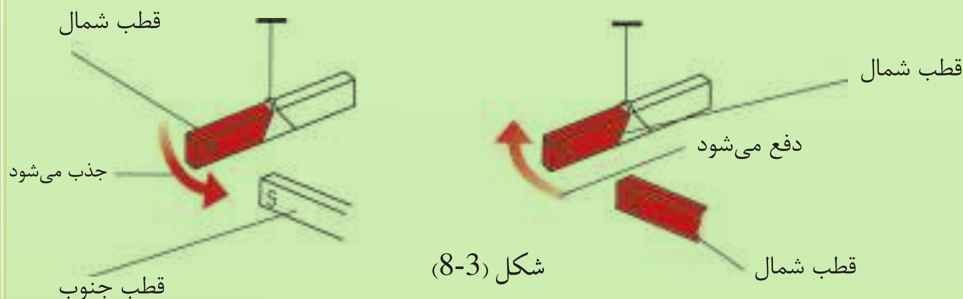
**هدف**: شناخت قطب‌های مقناطیسی و عمل متقابل بین شان.

**مواد مورد ضرورت**

میله‌های مقناطیسی دو دانه، تار به اندازۀ ضرورت، میخ دو دانه، چکش.

**طرزالعمل**

هر دو میلۀ مقناطیسی را طور آزاد آویزان نمایید. شما خواهید دید که این مقناطیس‌ها در امتداد شمال و جنوب قرار می‌گیرند؛ بنابراین آن انجام‌های مقناطیس‌ها که به طرف شمال واقع می‌گردند به‌نام قطب‌های جنوب مقناطیس‌ها و انجام‌هایی که به‌طرف جنوب زمین قرار می‌گیرند به‌نام قطب‌های شمال مقناطیس‌ها یاد می‌شوند.




شکل (3-8)

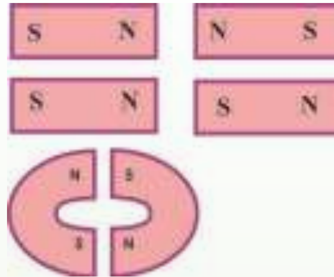
بعد قطب‌های شمال مقناطیس‌ها و مرتبۀ دوم قطب‌های جنوب را باهم نزدیک نمایید. در مرتبۀ سوم قطب‌های شمال و جنوب را با همدیگر نزدیک نمایید. در نتیجه شما خواهید دید که قطب‌های شمال و هم‌چنان قطب‌های جنوب یکدیگر را دفع می‌نمایند، مگر قطب‌های مخالف یکدیگر را جذب می‌نمایند.





**سؤال**

1.در اشکال ذیل نشان دهید که در کدام حالت مقناطیس‌ها یکدیگر را جذب و در کدام حالت یکدیگر را دفع می‌نمایند.




2.اگر یک میلهٔ مقناطیسی را دو نصف نمایید، هر پارچه دارای چند قطب خواهد بود؟

**سؤال**

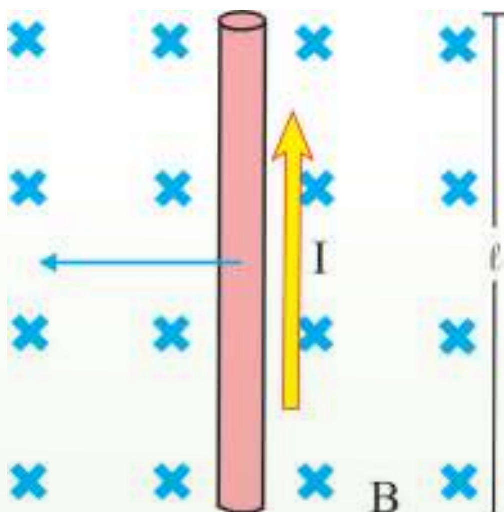
می‌دانید که در یک ساحهٔ مقناطیسی، بالای یک ذرهٔ چارج دار متحرک یک قوه عمل می‌نماید. چون جریان برق عبارت از جریان چارج‌ها ی متحرک است، پس آیا در بین یک ساحهٔ مقناطیسی بالای یک‌هادی حامل جریان، قوه وارد می‌شود؟ برای ارایهٔ جواب به این پرسش، بحث ذیل را ادامه می‌دهیم.

## 8-2: قوهٔ مقناطیسی بالای یک‌هادی حامل جریان

یک قطعه سیم مستقیم را با طول l که جریان I را انتقال می‌دهد، در بین یک ساحهٔ منظم مقناطیسی B مطابق شکل (8-4) در نظر می‌گیریم. هر گاه سمت‌های جریان برقی و ساحهٔ مقناطیسی بالای یکدیگر عمود باشند، مقدار قوهٔ مقناطیسی مجموعی بالای سیم توسط رابطهٔ ذیل نشان داده می‌شود.

$$F_m = B \cdot I \cdot l$$

(طول‌هادی در B) × (جریان) × (مقدار ساحهٔ مقناطیسی) = مقدار قوهٔ مقناطیسی




شکل (8-4) یک‌هادی حامل جریان برق در یک ساحهٔ مقناطیسی یک قوه‌یی را که به جهت جریان عمود است تولید می کند.

جهت قوهٔ مقناطیسی را بالای سیم می‌توانیم با استفاده از قانون دست راست دریافت نماییم. دست راست خود را طوری قرار دهید که کف دست تان درجهت ساحهٔ مقناطیسی و چهار انگشت تان جهت جریان را داشته باشد. این چهار انگشت را طوری انحنا دهید که جهت جریان برق با جهت ساحهٔ مقناطیسی مطابقت نماید. در این حالت شصت تان جهت قوهٔ مقنا طیسی را بالای‌هادی نشان می‌دهد؛ بنابر این در شکل (8-4) جهت قوهٔ مقناطیسی بالای سیم به‌طرف چپ می‌باشد. هر گاه جهت جریان برق هم جهت ساحه باشد یا جهت مخالف ساحه را داشته باشد، در این صورت قوهٔ مقناطیسی بالای سیم صفر است. از رابطهٔ فوق می‌توانیم بنویسیم که: $B = \frac{F}{Il}$

در این معادله می‌بینیم که در سیستم $SI$، واحد ساحهٔ مقناطیسی نیوتن $(N)$ بر کولمب ضرب در متر فی ثانیه است که به‌نام تسلا (Tesla) یاد می‌شود و به T نشان داده می‌شود.

$$1\ T = 1\ \frac{N}{C.\frac{m}{s}}$$

چون کولمب بر ثانیه عبارت از امپیر است، پس می‌توانیم بنویسیم که: $1\,T = 1\ \frac{N}{A.m}$

## مثال

سیمی که دارای طول $36m$ است جریان، $22Amp$ را از طرف شرق به طرف غرب انتقال می‌دهد. هر گاه بالای سیم، قوهٔ مقناطیسی به سبب ساحهٔ مقناطیسی زمین به طرف پایین (به‌طرف زمین) و دارای مقدار $4.0\times10^{-2}\,N$ باشد.در آن صورت مقدار ساحهٔ مقناطیسی و جهت آنرا دریافت نمایید.




**حل**

کمیات داده شده: $l = 36m,\ I = 22\ Amp,\quad F_m = 4.0\times10^{-2}\ N$

کمیت مجهول $B = ?$

معادله‌یی را می‌نوسیم که بالای یک هادی حامل جریان برق از طرف ساحهٔ مقناطیسی عمودی، قوهٔ مقناطیسی را بیان می‌نماید:

$$F_m = B\ I\ l ............(3)$$

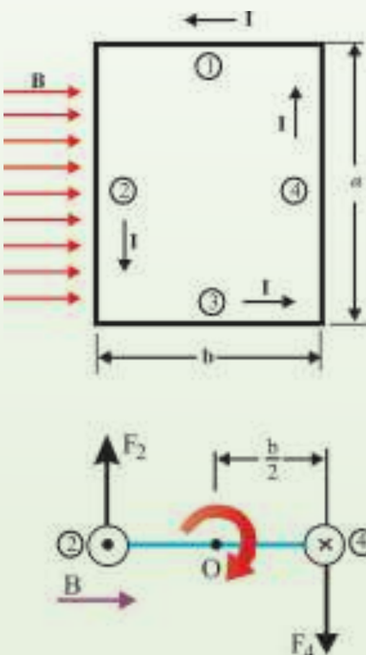
$$B = \frac{F_m}{I\ l}$$

$$B = \frac{4.0\times10^{-2}\ N}{(22Amp)(36m)} = 5.0\times10^{-5}\ T$$

با استفاده از قانون دست راست برای پیداکردن جهت $\vec{B}$ طوری ایستاده شوید که روی تان به‌طرف شمال باشد، شصت دست راست تان به طرف غرب (در جهت جریان برق) وکف دست تان را به طرف پایین (به طرف قوه) قرار دهید. جهت انگشتان دیگر تان به طرف شمال خواهد بود؛ بنابرین جهت ساحهٔ مقناطیسی زمین از طرف جنوب به طرف شمال می‌باشد.

### 8-2-1: مومنت بالای یک کوایل جریان دار

قبلاً نشان دادیم که بالای یک‌هادی حامل جریان در یک ساحهٔ مقناطیسی چگونه قوهٔ مقناطیسی عمل می‌نماید. بالای یک کوایل جریان دار در یک ساحهٔ مقناطیسی چگونه مومنت مقناطیسی عمل می‌نماید؟ به خاطر دریافت جواب برای این پرسش یک کوایل مستطیل شکل که جریان (I) را انتقال می‌دهد در یک ساحهٔ منظم مقناطیسی که موازی با مستوی حلقه است، مطابق شکل در نظر می‌گیریم.بالای کنارهای 1 و 3 کوایل هیچ قوه‌یی عمل نمی‌کند، زیرا این سیم ها با ساحه موازی اند. بالای کناره‌های 2 و 4 قوه‌های مقناطیسی عمل می‌کند؛ زیرا این کناره‌ها بالای ساحه عمود می‌باشد. مقدار این قوه‌ها براساس معادلهٔ (3) مساوی است به: $F_2 = F_4 = I\cdot a\cdot B$




شکل (8-5)

a) کوایل مستطیل شکل در یک ساحهٔ مقناطیسی منظم

b) منظرهٔ کوایل از جانب پایین

بالای ســیم 2، جهت قوۀ مقناطیســی $\overrightarrow{F_2}$ از صفحــۀ کاغذ به طرف خارج اســت، چنانکه درشــکل (8-5a) نشان داده شده است و بالای ســیم 4، جهت قوۀ مقناطیسی $\overrightarrow{F_4}$ از طرف صفحۀ کاغذ به طرف داخل اســت. اگر از کنار 3 به طــرف حلقه در امتداد کنارههای 2 و 4 دیده شــود، مانند شــکل (8-5b) دیده میشــود و جهتهای دو قوۀ مقناطیسی $\overrightarrow{F_2}$ و $\overrightarrow{F_4}$ مطابق شــکل دیده میشود. یاد آوری میشود که این دو قوه دارای جهتهای مخالف بوده، مگر دارای عین خط عمل نمیباشــند؛ بنابراین قوهها یک جفت را تشــکیل میدهند که در نقطۀ 0 در اطراف یک محور ســبب دوران گردیده و یک مومنت تولید مینمایند. مقدار این مومنت یا تورک عبارت است از:

$$\tau_{max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = (IaB)\frac{b}{2} + (IaB)\frac{b}{2}$$
$$= Iab\ B$$

دراین جا بازوی مومنت در اطراف O برای هر قوه $\frac{b}{2}$ اســت. چون مســاحت اشــغال شده توسط حلقه $A=ab$ است پس تورک اعظمی را میتوانیم طور ذیل بنوسیم:

$$\tau_{max} = IAB$$

تورک اعظمیتنها زمانی صدق مینماید که ساحۀ مقناطیسی موازی با مستوی حلقه باشد.

**مثال:**

یک کوایل مســتطیل شــکل دارای ابعاد $5.40cm \times 8.50cm$ و 25 حلقه بــوده و جریان، $15.0\,m\,amp$ را انتقال میدهد. کوایل دربین ســاحۀ مقناطیســی $0.350T$ که با مستوی کوایل موازی است گذاشته شده است. مقدار تورک عامل را بالای حلقه محاسبه نمائید.

**حل:** چون $\vec{B}$ بالای I و A عمود است پس داریم که:

$$\tau = N\,I\,A\,B = (25)(15.0\times10^{-3}\,A)(0.0540m)(0.0850m)(0.350T)$$
$$= 6.02\times10^{-4}\ N.m$$

دراین جا، N تعداد حلقههای کویل است.

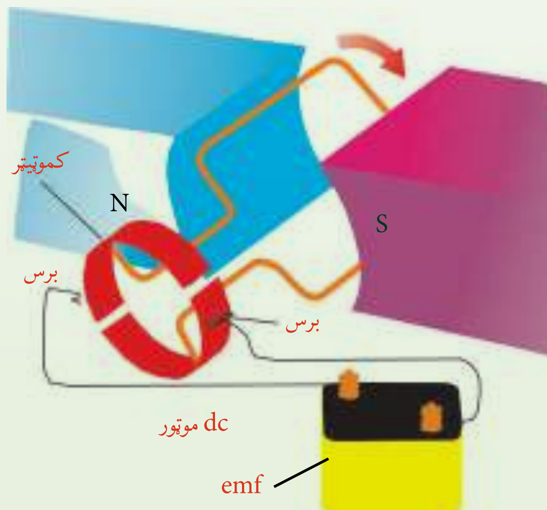




## 8-2-2: **موتور برقی**

موتور برقی چیست و چگونه کار می‌کند؟

موتور برقی ماشـینی است که انرژی برقی را به انرژی میخانیکی تبدیل می‌نماید. کار موتور مبتنی برحقیقتی اسـت که در یک سـاحۀ مقناطیسـی بالای یک‌هادی حامل جریان، قوۀ مقناطیسـی عمل می‌کند. در موتور نیز جریان به کوایل داده می‌شـود. و بالای یک کوایل جریان دار قوۀ مقناطیسـی سبب دوران آن می‌شـود (شکل دیده شود)، کوایل موتور بالای یک میلۀ دوار نصب و دربین قطب‌های مقناطیس قرار داده شـده است. بورش‌ها با کموتیتر که در کوایل جریان را تغییر می‌دهد تماس دارد. این تغییر جریان سبب می‌شود که ساحۀ مقناطیسی تولید شده توسط جریان باید به‌صورت منظم تغییر نماید و به همین علت توسط سـاحۀ مقناطیسی ثابت همیشـه دفع می‌گردد؛ بنابراین کوایل و میلۀ دوار به حرکت ادامه می‌دهـد. یـک موتور می‌تواند در حالی کار میخانیکی را انجام دهد که کوایل دوار با یک آلۀ خارجی وصل گردد. زمانی‌که کوایل در موتور دور می‌زند، مرکبۀ عمودی ساحۀ مقناطیسی درآن تغییـر می‌نماید ویک قوۀ محرکۀ برقـی (emf) را تولید می‌کند که در کوایل جریان را کاهش می‌دهد. این emf تولید شـده به‌نام emf معکوس یاد می‌گردد. emf معکوس با ازدیاد تغییر سـاحۀ مقناطیسی تزاید می‌نماید. به عبارت دیگر، با دور خوردن سریع کوایل، emf معکـوس نیز زیـاد می‌گردد. تفاوت پوتانشـیل که برای موتور جریـان تهیه می‌نماید مسـاوی به تفاوت بین پوتانشـیل تطبیق شده و emf معکوس اسـت. در نتیجه، به سبب موجودیـت emf معکـوس نیز در کوایـل جریان کاهش می‌یابد. به هر انـدازه که موتور به سرعت دور می‌زند، در انجام‌های موتور emf خالص و در کوایل جریان خالص هر دو کوچک می‌گردد.




شـکل (6-8) در موتـور، جریان کوایل با سـاحۀ مقناطیسـی عمل متقابل انجام می‌دهد که سبب دوران کوایل و میله‌یی می‌گـردد که کوایل بالای آن نصب شده است.

### سؤالات

1. هر گاه در یک موتور از کموتیتر استفاده صورت نگیرد چه واقع می‌شود ؟ توضیح دهید.

## 8-3: قانون بیوت – ساوارت

ساحه‌های مقناطیسی که توسط قانون بیوت – ساوارت توضیح گردیده است ساحه‌هایی است که توسط یک‌هادی انتقال دهندهٔ جریان تولید شده باشد. این‌هادی می‌تواند یک‌هادی مستقیم طویل باشد، شکل کوایل را داشته باشد و یا سولینویید باشد.

### 8-3-1: ساحهٔ مقناطیسی یک‌هادی مستقیم طویل

ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط یک‌هادی حامل جریان طویل مستقیم را ذریعهٔ تجربهٔ ذیل ببینید:

**فعالیت**

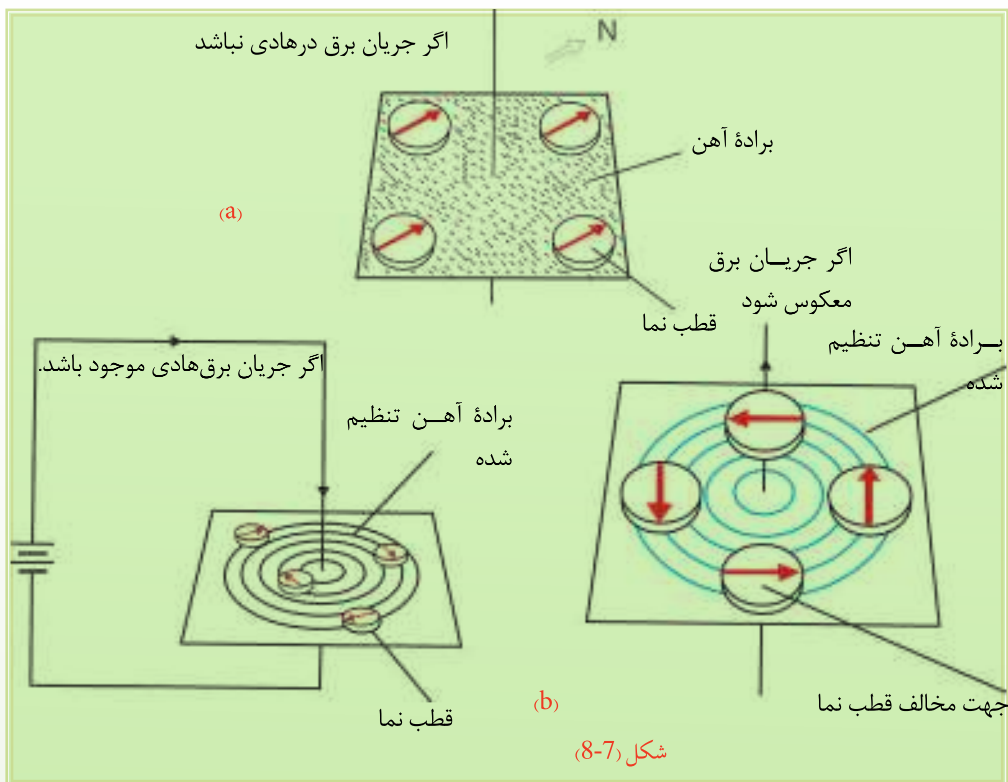
**هدف**: مشاهدهٔ ساحهٔ مقناطیسی یک سیم حامل جریان.

**مواد مورد ضرورت**

یک سیم طویل، یک ورق کاغذ سفید، بتری، برادهٔ آهن به اندازهٔ ضرورت، یک تعداد قطب نماها.

**طرز العمل**

- سیم طویل را از کاغذ سفید طوری عبور دهید که کاغذ به‌صورت افقی قرار داشته باشد.
- بالای کاغذ برادهٔ آهن را پاش دهید.
- انجام‌های سیم را با بتری وصل نمایید و جریان را از آن عبور دهید. چیزی را که مشاهده، می‌نمایید آن را باهم صنفیان خویش شریک سازید، شکل (8-7)




شکل (7-8)

هم‌چنان یک تعداد قطب‌ها را نزدیک سیم عمودی بالای مستوی افقی قرار دهید. زمانی که در سیم جریان وجود نداشته باشد، شما ببینید که عقربه‌های قطب نماها چگونه واقع می‌شوند. مرتبهٔ دیگر از سیم جریان را عبور دهید، ببینید که در موقعیت‌های عقربه‌های قطب نماها چگونه تغییر به وجود می‌آید؟ مشاهدات خویش را با یکدیگر تان شریک سازید.

حالت اول نشان می‌دهد که هر گاه از سیم جریان عبور نماید، برادهٔ آهن دراطراف سیم دایره‌های متحدالمرکز را تشکیل می‌دهد. در حالت دوم که در سیم جریان وجود نداشته باشد تمام عقربه‌ها به سبب ساحهٔ مقناطیسی زمین درعین جهت قرار می‌گیرند، مگر زمانی که از سیم یک جریان مستقیم قوی عبور نماید، عقربه‌های قطب نماها در اطراف سیم در جهت مماس به دسیممتحدالمرکز انحراف می‌نماید. از این تجارب واضح می‌گردد که ساحهٔ مقناطیسی توسط جریان تولید می‌شود. هر گاه جهت جریان تغیر نماید جهت عقربه‌ها نیز تغییر می‌نماید.

چگونه می‌توانیم جهت این ساحهٔ مقناطیسی را تعیین نماییم؟

از تجارب فوق واضح می‌گردد که جهت ساحهٔ مقناطیسی B برای جریان قرار دادی توسط یک قانون ساده تعیین می‌گردد که به‌نام قانون دست راست یاد می‌شود. اگر سیم را طوری در دست راست بگیریم که شصت ما جهت جریان را داشته باشد، طوری‌که در شکل نشان داده شده است، انحنای چهار انگشت دیگر ما در جهت B می‌باشد.





شکل (8-8)

a- وقتی‌که سیم یک جریان قوی را انتقال می‌دهد.

b- عقربه‌های قطب نماها می‌تواند غرض نشان دادن ساحهٔ مقناطیسی به‌کار برده شود.

هم‌چنان شکل (8-9) نشان می‌دهد که B در هر محل مسیر دایروی یا مرکزیت سیم، دارای عین مقدار بوده و در مستوی عمودی بالای سیم واقع می‌باشد. تجارب نشان می‌دهد که B با جریان در سیم تناسب مستقیم و به فاصله از سیم تناسب معکوس دارد، یعنی $B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r}$ در این جا، $\frac{\mu_0}{2\pi}$ ثابت تناسب است که به‌صورت تجربی حاصل می‌گردد. $\mu_0$ به‌نام ضریب نفوذ فضای آزاد یاد می‌شود و قیمت آن $4\pi \times 10^{-7} \frac{weber}{A.m}$ و یا $\frac{T}{m}$ است.



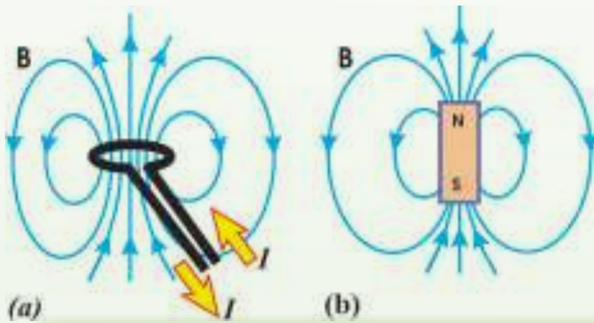
شکل (8-9) استفاده از قانون دست راست برای تعیین B

## 8-3-2: ساحهٔ مقناطیسی یک کوایل

چگونه می‌توانیم جهت ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط یک کوایل دایروی حامل جریان را تعیین نماییم ؟ جهت ساحهٔ مقناطیسی یک کوایل دایروی حامل جریان را چنانکه در شکل (8-10a) نشان داده شده است با استفاده از قانون دست راست پیدا کرده می‌توانیم. بدون این‌که توجه گردد که قانون دست راست در کدام محل حلقه تطبیق می‌شود، ساحه در نقاط داخل حلقه دارای عین جهت بوده و به طرف بالا می‌باشد. یاد آوری می‌گردد که خطوط ساحهٔ مقناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان مشابه به خطوط یک میلهٔ مقناطیسی می‌باشد، چنانکه در شکل (8-10b) نشان داده شده است.

برای یک حلقه، ساحه در مرکز حلقه عبارت است از: $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$

در این جا R شعاع حلقه است و کوایلی که دارای N حلقه باشد در آن صورت $B = \frac{N\mu_0 I}{2R}$ می‌باشد.




شکل (8-10)
a- ساحهٔ مقناطیسی یک کوایل دایروی حامل جریان
b- ساحهٔ مقناطیسی یک میلهٔ مقناطیسی

### فعالیت

**هدف**: ساختن الکترو مقناطیس

**مواد مورد ضرورت**: بتری‌های خشک، سیم پوش دار به اندازهٔ یک متر، یک میز بزرگ، عقربهٔ مقناطیسی.

### طرزالعمل

سیم را به اطراف میخ پیچانیده، از انجام‌های سیم پوش آن را دور ساخته و بعد این انجام‌ها را به ترمینل‌های بتری وصل نمایید. از عقربهٔ مقناطیسی به خاطری استفاده نمایید که نشان دهد آیا میخ مقناطیس شده است یا خیر. بعد بتری را طور معکوس وصل نمایید تا جهت جریان تغییر

نماید. بار دیگر عقربهٔ مقناطیسی را به همان قسمت میخ نزدیک سازید. شما خواهید دید که نوک عقربهٔ مقناطیسی تغییر می‌نماید. آیا می‌توانید توضیح نمائید که چرا جهت عقربهٔ مقناطیسی تغییر می‌نماید؟ گیراهای کاغذ را به میخ در حالی نزدیک نمائید که بتری وصل باشد. با گیراهای کاغذ چه واقع می‌شود؟ با تغییر دادن تعداد حلقه‌ها بالای میخ و هم‌چنان با اتصال دو بتری، تجربه را تکرار نمایید و چیزی را که می‌بینید توضیح دهید.

## 8-3-3: ساحهٔ مقناطیسی سولینویید

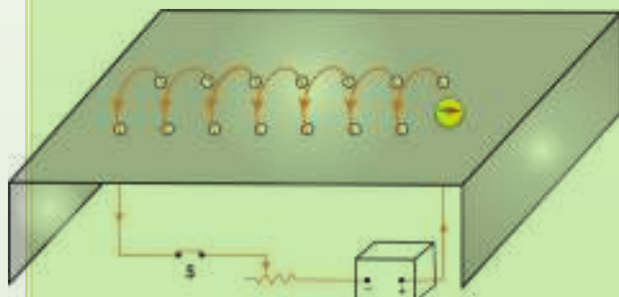
سولینویید چیست؟ ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط سولینویید در کدام محل قویتر می‌باشد؟
گذاشتن یک میلهٔ آهن در داخل سولینویید بالای ساحهٔ مقناطیسی چه تأثیر دارد؟
سولینویید عبارت از یک سیم طویل است که به‌شکل فنر پیچیده شده باشد؛ چنانکه در شکل (8-11) نشان داده شده است.

## فعالیت زیر را انجام دهید



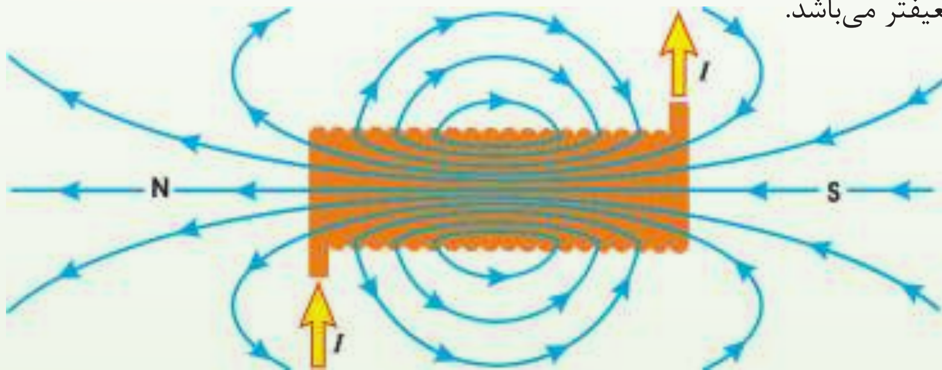
**فعالیت**

یک قطی پلاستیکی یا کاغذی را گرفته و در امتداد دو خط به فاصله‌های مساوی آن را سوراخ نمایید. یک سیم را از سوراخ‌ها طوری عبور دهید که مطابق شکل، یک سولینویید ساخته شود. از سولینویید یک جریان ثابت را عبور دهید و با استفاده از عقربهٔ مقناطیسی یا برادهٔ آهن خطوط ساحهٔ مقناطیسی سولینویید را نشانی کنید. مشاهدات خویش را با هم شریک ساخته و بعد با معلوماتی که در مورد ساحهٔ مقناطیسی سولینویید به دست آورده اید مقایسه نمایید.




شکل (8-11)

سولینویید در بسیاری موارد مهم است؛ زیرا وقتی‌که سولینویید جریان را انتقال می‌دهد، مانند یک مقناطیس عمل می‌نماید. ساحهٔ مقناطیسی در داخل سولینویید نسبت به جریان تزاید می‌نماید و با تعداد حلقه‌های واحد طول متناسب است، یعنی: $B = n\mu_0 I$
در این جا $n = \frac{N}{l}$ (تعداد حلقه‌ها فی واحد طول) است. N، تعداد حلقه‌ها و $l$، طول سولینویید را نشان می‌دهد. $\mu_o$ ثابت و I اندازهٔ جریان مستقیم در سولینویید است. در داخل کوایل با گذاشتن یک میلهٔ آهنی می‌توانیم ساحهٔ مقناطیسی سولینویید را افزایش دهیم: این آله عموماً به‌نام الکترومگنیت یاد می‌شود. ساحهٔ مقناطیسی که در میله تولید می‌شود. با ساحهٔ مقناطیسی سولینویید جمع می‌شود، که معمولاً یک مقناطیس قوی را می‌سازد. شکل (12-8) خطوط ساحهٔ مقناطیسی یک سولینویید را نشان می‌دهد. گفتنی است که خطوط ساحه در داخل سولینویید دارای عین جهت بوده، تقریباً موازی اند، طور منظم واقع اند و باهم نزدیک می‌باشند. این نشان می‌دهد که ساحه در داخل سولینوییدقوی و تقریباً منظم است. ساحهٔ خارج سولینویید غیر منظم و نسبت به ساحهٔ داخل سولینویید ضعیفتر می‌باشد.




شکل (12-8 ) در داخل سولینویید ساحه قوی و منظم است.

## سؤالات

1- ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط یک سیم حامل جریان مستقیم دارای کدام شکل است؟

2- چرا ساحهٔ مقناطیسی در داخل سولینویید نسبت به خارج سولینویید قویتر است؟

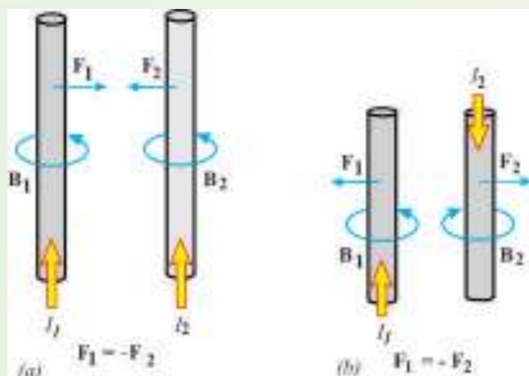
## 8-4: قوه‌های مقناطیسی بین دو سیم حامل جریان

هر گاه یک‌هادی حامل جریان در یک ساحهٔ خارجی واقع گردد، آیا بالای‌هادی قوهٔ مقناطیسی عمل می‌نماید؟ چرا؟ قوه‌های مقناطیسی بین‌هادی‌های حامل جریان با جهات جریان‌های داخل‌هادی چگونه را بطه دارند؟

از قبل می‌دانیم که هر گاه یک‌هادی حامل جریان در بین یک ساحهٔ مقنا طیسی خارجی واقع گردد، بالای آن قوهٔ مقناطیسی عمل می‌نماید؛ زیرا جریان‌هادی، خود یک ساحهٔ مقناطیسی را تولید می‌نماید و در نتیجهٔ عمل متقابل بین این دو ساحهٔ مقناطیسی، بالای‌هادی، قوهٔ مقناطیسی عمل می‌کند. از این‌جا به آسانی فهمیده می‌توانیم که هر گاه دوهادی حامل جریان نزدیک یکدیگر قرار داده شود، یکی بالای دیگر قوه‌های مقناطیسی وارد می‌نمایند. هر گاه دوهادی با هم موازی باشند، جهت ساحهٔ مقناطیسی که توسط یک‌هادی تولید می‌شود بالای جهت جریان‌هادی دیگر عمود می‌باشد، و برعکس نیز چنین است. به این ترتیب قوهٔ مقناطیسی $F_m = BIl$ را بالای یکدیگر وارد می‌نمایند، در این جا B مقدار ساحهٔ مقناطیسی است که توسط یک‌هادی به‌وجود می‌آید.

حال دو سیم طویل مستقیم و موازی را طوری در نظر می‌گیریم که در شکل(8-13) نشان داده شده است. هر گاه جریان‌ها در هر دو سیم دارای عین جهات باشند، دو سیم یکدیگر را جذب می‌نمایند. این ادعا با استفاده از قانون دست راست به اثبات می‌رسد.

جهت شصت شما جهت جریان دریک سیم، جهات انگشتان شما جهت ساحهٔ تولید شده توسط سیم و جهت و کتوری که از کف دست شما در این حالت خارج می‌گردد، جهت قوه را به طرف سیم دیگر نشان می‌دهد. هر گاه جریان‌ها در سیم ها دارای جهات مخالف باشند، سیم ها یکدیگر را دفع می‌نمایند.




شکل (8-13) دو سیم موازی که هر کدام آن جریان ثابت را انتقال می‌دهد، یکی بالای دیگری قوهٔ مقناطیسی وارد می‌نماید.

a- هر گاه جریان‌ها دارای عین جهت باشند سیمها یکدیگر را جذب می‌نمائید.

b- هر گاه جریان‌ها دارای جهات مخالف باشند، سیمها یکدیگر را دفع می‌نمایند.

## خلاصهٔ فصل

• مقناطیس طبیعی همان اکسایدهای سنگی ($Fe_3O_4$) اند که پارچه‌های آهنی را جذب می‌نمایند.

• فضای نزدیک یک مقناطیس که در آن جا مقناطیسیت اثر می‌نماید و این اثر مقناطیسیت مانند انحراف عقربهٔ قطب نما مشاهده می‌گردد که به نام ساحهٔ مقناطیسی یاد می‌شود.

• بالای یک سیم مستقیم با طول $l$ که جریان I را انتقال می‌دهد در بین ساحهٔ مقناطیسی، قوهٔ مقناطیسی ذیل می‌نماید. $F = BIl$

• هر گاه یک حلقهٔ مستطیل شکل که دارای عرض a وطول b بوده و جریان I در آن جاری باشد در ساحهٔ مقناطیسی قرار گیرد که با مستوی حلقه موازی باشد ،مومنت اعظمی‌بالای حلقه عبارت است از: $\tau_{max} = IabB = IAB$ دراین جا A مساحت حلقه است.

• موتور برقی ماشینی است که انرژی برقی را به انرژی میخانیکی تبدیل می‌نماید.

•قانون بیوت- ساوارت آن ساحهٔ مقناطیسی را بیان می‌نماید که توسط یک هادی حامل جریان تولیده شده باشد. این‌هادی می‌تواند یک‌هادی مستقیم طویل باشد، شکل کوایل را داشته باشد یا سولینویید باشد.

• ساحهٔ مقناطیسی (B) یک هادی مستقیم طویل با جریان‌هادی تناسب مستقیم و با فاصله از هادی تناسب معکوس دارد، یعنی:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r}$$

در این‌جا $\frac{\mu_0}{2\pi}$ ثابت تناسب است. $\mu_0$ به‌نام ضریب نفوذ فضای آزاد یاد می‌شود و قیمت آن $4\pi \times 10^{-7} \frac{wb}{A.m}$ است.





• خطوط ساحهٔ مقناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان، مشابه به خطوط میلهٔ مقناطیسی است و در مرکز حلقه، ساحه عبارت است از:

$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{R}$ دراین جا R شعاع حلقه است.

• شدت ساحهٔ مقناطیسی در داخل سولینویید نسبت به جریان تزاید می‌نماید. به تعداد حلقه در فی واحد طول متناسب است، یعنی: $B = n\mu_0 I$ و در این جا $n = \frac{N}{l}$ ( تعداد حلقه فی واحد طول) است. N تعداد حلقه‌ها و $l$ طول سولینویید است.

## سوالات اخیر فصل

1- هر گاه شما در قطب شمال زمین قرار داشته باشید جهت عقربهٔ مقناطیسی چگونه خواهد بود؟

2- هر گاه یک پارچهٔ آهنی مقناطیس ناشده توسط یک قطب مقناطیس جذب گردد، آیا توسط قطب مخالف دفع خواهد شد؟

3- شما دو میلهٔ آهنی و پارچهٔ تار محکم دارید. هر گاه یک میلهٔ مقناطیس شده و دیگران مقناطیس نشده باشد، چگونه می‌دانید که کدام میله مقناطیس شده است؟

4- یک‌هادی حامل جریان طوری قرار گرفته است که در آن الکترون‌ها از شرق به طرف غرب در حرکت اند. هر گاه یک عقربهٔ مقناطیسی را بالای این‌هادی بگذارید، عقربه به کدام جهت انحراف می‌نماید؟ (گفتنی است که جهت حرکت چارج‌های مثبت به‌حیث جهت مثبت جریان تعریف شده است)

5- شدت ساحهٔ مقناطیسی یک سولینویید تابع کدام فکتورها است؟

6- هرگاه یک سولینویید توسط تاری طوری آویخته شده باشد که بتواند طور آزاد دور بزند،





زمانی‌که سولینویید جریان مستقیم را انتقال دهد آیا از آن به حیث یک قطب نما استفاده کرده می‌توانیم؟ هرگاه جریان آن متناوب باشد، آیا باز هم از آن به‌حیث قطب نما استفاده کرده می‌توانیم؟ توضیح دهید.

7- یک سیم، جریان $10.0A$ را در جهتی انتقال می‌دهد که با ساحهٔ مقناطیسی زاویه $90^\circ$ را تشکیل می‌دهد. هرگاه بالای طول $50m$ این سیم، مقدار قوهٔ مقناطیسی $15.0N$ باشد، شدت ساحهٔ مقناطیسی را در یافت نمایید؟

8- جریان $I = 15A$ در جهت مثبت محور X و عمود بالای ساحهٔ مقناطیسی جاری می‌باشد. بالای هادی در جهت منفی محور y قوهٔ مقناطیسی در فی واحد طول آن $0.12\frac{N}{m}$ است. مقدار و جهت ساحهٔ مقناطیسی را در ناحیه‌یی محاسبه نمایید که جریان از آن عبور می‌نماید.

9- ساحهٔ مقناطیسی را در داخل سولینویید چگونه می‌توان قوی کرد؟

a- با ازدیاد تعداد حلقه‌ها در فی واحد طول.

b- با تزاید جریان.

c- با گذاشتن میلهٔ آهنی در بین سولینویید.

d- توسط تمام نقاط ذکر شدهٔ فوق.

10 - فرض می‌کنیم برق در دو هادی (سیم های 1 و 2) در جریان است:

هر گاه سیم 1 جریان $I_1$ را انتقال و ساحهٔ مقناطیسی $B_1$ را تولید نماید و سیم2 جریان $I_2$ را در عین جهت انتقال و ساحهٔ مقناطیسی $B_2$ تولید نماید. جهت قوهٔ ساحهٔ مقناطیسی درموقعیت سیم2:

a- به‌طرف چپ است.

b- به‌طرف راست است.

c- به‌طرف داخل صفحه است.

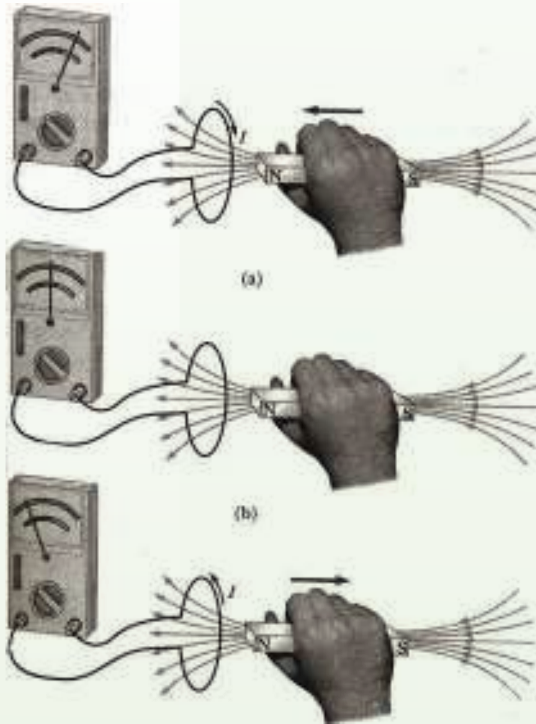
d- از صفحه به طرف خارج است





# القای الکترومقناطیسی و برق متناوب

قبلاً دیدیم که توسط القای برقی می‌توانیم اجسام را برقی (چارج دار) نماییم؛ هم‌چنان القای مقناطیسی را نیز شناختیم. در حالت اول به سبب القا در ماده‌هادی، چارج برقی تولید می‌شود و درحالت دوم به سبب القا در یک مادهٔ فیرومگنتیک، خاصیت مقناطیسی به وجود می‌آید. حال پرسش مطرح می‌گردد که آیا ممکن است در یک سرکت بدون بتری یا منبع، جریان برق تولید شود؟ اگر این کار ممکن باشد پس سؤالی مطرح می‌گردد که قوهٔ محرکهٔ برقی این جریان القا شده را چه می‌گویند؟ القای خودی چیست؟ برای این پرسش‌ها با مطالعهٔ این فصل جواب گفته می‌توانیم. زمانی‌که این موضوعات را درک نمودیم بعد به سؤالاتی؛ مانند این که سرکت RL چگونه سرکتی است؟ در کوایل انرژی چگونه ذخیره می‌شود؟ سرکت‌های RC و LC چگونه سرکت‌هایی اند؟ القای متقابل چگونه صورت می‌گیرد؟ ترانسفارمر چیست؟ و جنراتور برقی داینمو چیست؟ نیز می‌توانیم جواب دریافت نماییم. آیا ممکن است در یک سرکت در عدم موجودیت بتری یا منبع برق جریان برق تولید گردد؟




برای دریافت جواب به این پرسش فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم:

یک حلقهٔ سیم را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل فوق با یک گلوانومتر وصل شده است. زمانی‌که یک مقناطیس به این حلقه نزدیک آورده شود عقربهٔ گلوانومتر به یک طرف انحراف می‌نماید و این عقربه در حلقه موجودیت جریان برق را نشان می‌دهد که در شکل (a) انحراف عقربه گلوانومتر به طرف راست نشان داده شده است. زمانی‌که حرکت

مقناطیسی توقف داده شود و مقناطیس نسبت به حلقه حالت سکون را اختیار نماید؛ مطابق شکل (a)، انحراف عقربهٔ گلوانومتر مشاهده نمی‌شود. این عملیه عدم موجودیت جریان برق را در حلقه نشان می‌دهد. زمانی‌که مقناطیس از حلقه دور می‌شود عقربهٔ گلوانومتر در جهت مخالف حرکت می‌نماید. چنانکه در شکل (b) نشان داده شده است، این کار در حلقه موجودیت جریان برق را در جهت مخالف نشان می‌دهد. بالآخره اگر مقناطیس در حالت سکون حفظ گردد و حلقه به آن نزدیک یا از آن دور ساخته شود، عقربهٔ گلوانومتر انحراف می‌نماید. از این مشاهدات نتیجه می‌شود که در وقت حرکت مقناطیس نسبت به حلقه در حلقه ساحهٔ مقناطیسی تغییر می‌نماید؛ بنابراین مشاهده می‌شود که بین جریان و ساحهٔ مقناطیسی متغییر رابطه‌یی وجود دارد. نتایج این تجارب حقیقتی را آشکار می‌سازد که در یک سرکت حتا در صورت عدم موجودیت بطری هم جریان برق تولید می‌شود. این نوع جریان به نام جریان القا شده یاد می‌شود و گفته می‌شود که این جریان به وسیلهٔ یک قوهٔ محرکهٔ برقی ( *emf* ) القا شده تولید می‌شود؛ بنابراین مفهوم جریان القایی و *emf* القایی را باید شناخت، و به این منظور سرکت‌های RC، RL و LC مطالعه می‌شود، این‌که در کوایل انرژی چگونه ذخیره می‌شود نیز در این فصل مطالعه می‌گردد. به همین‌گونه این‌که القای متقابل چگونه صورت می‌گیرد، ترانسفارمر چیست و جنراتور چگونه فعالیت می‌نماید را نیز تا پایان این فصل مطالعه خواهیم کرد.

## 9-1: مفهوم القا

به خاطر درک مفهوم القا فعالیت ذیل را انجام دهید:

**فعالیت**

**مواد مورد ضرورت**

مقناطیس میله مانند، گلوانومتر حساس، کوایل ساخته از سیم، لین‌های اتصالی

**طرزالعمل**

1. کوایل و گلوانومتر را مطابق شکل ذیل وصل نمایید.
2. میلهٔ مقناطیسی را به کوایل نزدیک نمایید، چیزی را که می‌بینید آن را بنویسید.
3. میلهٔ مقناطیسی را از کوایل دور نمایید، چیزی را که می‌بینید آن را یادداشت نمایید.



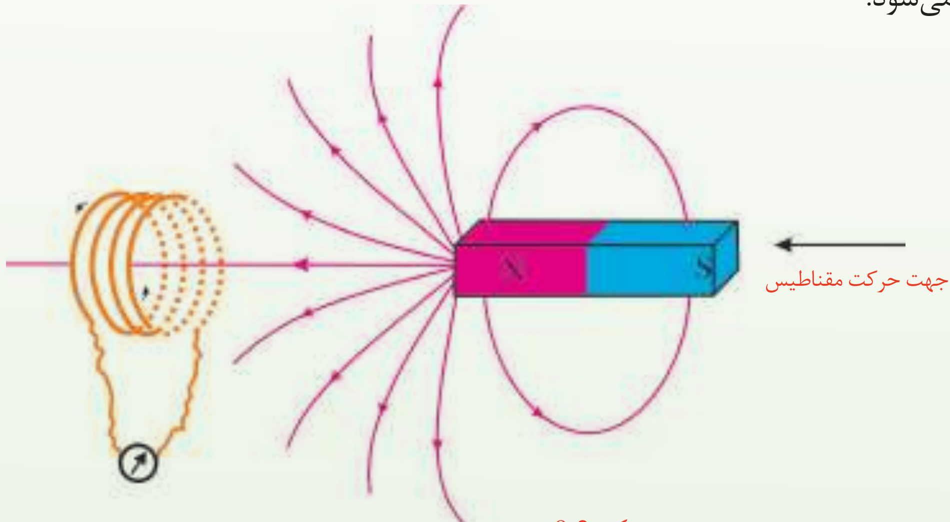
شکل (9-1)

**نتیجه**

شـــما مشاهده خواهید کرد که با نزدیک یا دور ســـاختن میلهٔ مقناطیسی به کوایل، عقربهٔ گلوانومتر انحراف می‌نماید و این موجودیت جریان برق را در کوایل نشان می‌دهد، یعنی که به سمت حرکت میلهٔ مقناطیسی نسبت به کوایل، در کوایل جریان برق تولید می‌شود. این حادثه را القای الکترومقناطیسی و جریان تولید شده را جریان برقی القا شده می گویند.

این که چگونه حرکت میلهٔ مقناطیســـی نســـبت به کوایل سبب تولید جریان برقی القا شده می گردد، آن را چنین توضیح می‌دهیم:

نزدیک یا دور شـــدن میلهٔ مقناطیســـی به کوایل سبب تغییر ســـاحهٔ مقناطیسی در کوایل می‌شود.



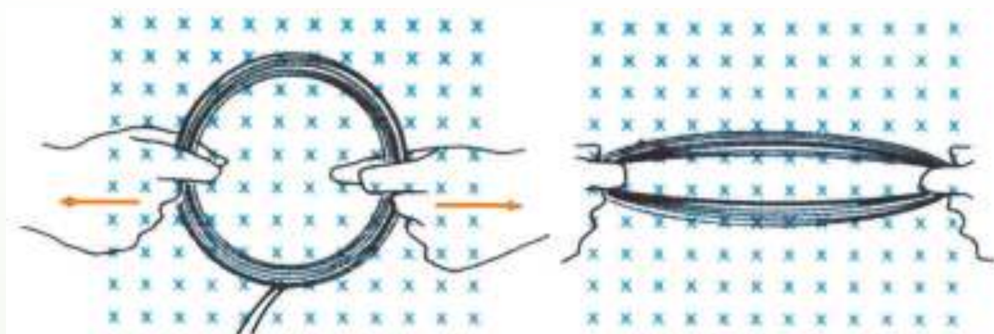

شکل (2-9)

و به این ســـبب در کوایل جریان القای برقی به وجود می‌آید. از اینجا نتیجه می گیریم که: تغییر ســـاحهٔ مقناطیســـی از یک حلقهٔ بســـته ســـبب ایجاد جریان برقی القا شده در حلقه می گردد.

برعلاوهٔ طریقه‌های ذکر شـــدهٔ فوق طریقه‌های دیگری نیز وجود دارند که می‌تواند توســـط آن‌ها جریان برق در کوایل تولید شود.

اگر یک کوایل در بین ســـاحهٔ مقناطیســـی منظم گذاشته شـــود، بعد شکل کوایل را تغییر

دهیم طوری‌که مساحت کوایل تغییر نماید، مشاهده می‌شود که به سبب این عمل در کوایل جریان برق تولید می‌شود. از این جا نتیجه می‌شود که:
در بین یک ساحهٔ مقناطیسی به وسیلهٔ تغییر مساحت یک حلقهٔ بسته نیز، در حلقه جریان القایی به وجود می‌آید.



شکل (3-9) جریان برق القا شده به اساس تغییر مساحت حلقه در ساحهٔ مقناطیسی.

## 9-2: قوهٔ محرکهٔ برقی جریان القایی

شما دیدید زمانی‌که میلهٔ مقناطیسی به حلقه نزدیک آورده می‌شود یا از حلقه دور می‌گردد، در حلقه جریان برق تولید می‌شود که این جریان به وسیلهٔ *emf* القایی تولید می‌شود. از این تجربه آشکار می‌گردد که با نزدیک کردن و دورساختن میلهٔ مقناطیسی از حلقه و هم‌چنان در صورت تغییر سایز حلقه، شدت ساحهٔ مقناطیسی تغییر می‌نماید و در نتیجهٔ این تغییر *emf* در سرکت تولید می‌گردد. یک طریقهٔ پیشبینی تولید جریان در حالت داده شده این است که باید ملاحظه گردد چقدر خطوط ساحهٔ مقناطیسی توسط حلقه قطع می‌گردد. طور مثال، حرکت سرکت در بین ساحهٔ مقناطیسی سبب می‌شود که تعداد خطوط در حلقه تغییر نماید.
با تغییر دادن سایز حلقهٔ سرکت یا به سبب دوران حلقه، تعداد خطوط ساحه‌یی که از حلقه عبور می‌کنند تغییر می‌نماید، و این سبب تغییر شدت یا جهت ساحهٔ مقناطیسی می‌شود.
چون عبور خطوط ساحهٔ مقناطیسی از مساحت یک حلقهٔهادی عبارت از فلکس مقناطیسی است، پس از تجارب فوق گفته می‌توانیم که در نتیجهٔ تغییر فلکس نظر به زمان از حلقه، قوهٔ محرکهٔ برقی ( *emf* ) تولید می‌شود، که به نام قوهٔ محرکهٔ برقی *emf* القا شده یاد می‌گردد.



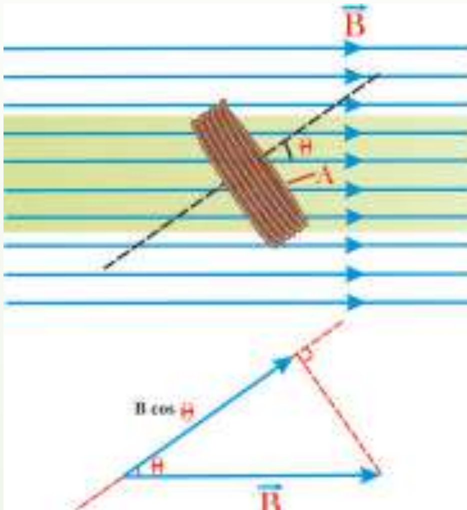


برای محاسبهٔ emf القا شده باید از قانون اندکشن مقناطیسی فارادی استفاده نمایید. برای یک حلقهٔ سرکت، این قانون طور ذیل بیان می‌شود:

$$emf = -\frac{\Delta\phi_M}{\Delta t}$$

فلکس مقناطیسی $\phi_M$ را می‌توانیم طور ذیل نیز بنویسیم:

$$\phi_M = AB\cos\theta$$




شکل (4-9) زاویه بین ساحهٔ مقناطیسی و عمود بالای مستوی حلقه با شدت ساحهٔ مقناطیسی بالای مستوی حلقه مساوی می‌باشد.

این رابطه بیان می‌نماید که تغییر شدت ساحهٔ مقناطیسی B، مساحت حلقهٔ A و زاویه $\theta$ نظربه زمان، ($emf$) القا شده را تولید می‌کند و حد $B\cos\theta$ مرکبهٔ عمودی ساحهٔ مقناطیسی را بالای مستوی حلقه نشان می‌دهد. زاویهٔ $\theta$ عبارت از زاویه بین ساحهٔ مقناطیسی و عمود بالای مستوی حلقه می‌باشد؛ چنانکه در شکل نشان داده شده است:

$$emf = -\frac{\Delta\phi_M}{\Delta t}$$

فلکس مقناطیسی $\phi_M$ را چنین نوشته کرده می‌توانیم: $\phi_M = AB\cos\theta$

علامت منفی نشان می‌دهد که ساحهٔ مقناطیسی القا شده، مخالف تغییر ساحهٔ مقناطیسی تطبیق شده است. اگر تعداد حلقه‌های پیچیده شده N باشد، $emf$ القا شدهٔ وسطی به طور ساده، N برابر $emf$ القا شده است که برای یک حلقه می‌باشد؛ بنابر این شکل عمومی قانون اندکشن مقناطیسی فارادی عبارت است از: $emf = -N\frac{\Delta\phi_M}{\Delta t}$، در این جا N تعداد حلقه‌ها است.

گفتنی است که واحد ساحهٔ مقناطیسی در سیستم SI تسلا (T) است که با $1\frac{N}{A\cdot m}$ مساوی می‌باشد؛ چون $N = V\cdot A\cdot s/m$ است، پس می‌توانیم تسلا را با واحد معادل $\frac{V\cdot S}{m^2}$ نیز نشان دهیم.

## 9-3: القای خودی (Self Induction)

کلمهٔ القا برای کدام ($emf$)ها و جریان‌ها به کار برده می‌شود؟

کلمهٔ القا برای $emf$ها و جریان‌هایی به کار برده می‌شود که توسط تغییر ساحهٔ مقناطیسی تولید شده باشند. برای وضاحت این موضوع، سرکتی را در نظر می‌گیریم که متشکل از یک سویچ، یک مقاومت و یک منبع $emf$ باشد.

آیا با وصل کردن سویچ، جریان ناگهانی در سرکت به قیمت اعظمی‌خود می‌رسد؟

زمانـــی که وصل گردد جریان از صفـــر الی قیمت اعظمی‌اش $(\varepsilon/R)$ به طور ناگهانی جهش نمی‌کند و این موضوع را قانون اندکشن فارادی طور ذیل بیان می‌نماید:

زمانی‌که جریان برق نظر به وقت تزاید می‌نماید، از بین حلقهٔ سرکت، فلکس مقناطیسی نیز به ســبب این جریان نظربه وقت تزاید می‌کند. این فلکس زیاد شــونده در سرکت یک $emf$ القا شــده را تولید می‌کند $emf$ القا شــده دارای جهتی می‌باشــد که در حلقه جریان تولید نماید تا ساحهٔ مقناطیسی ناشی از آن مخالف تغییر ساحهٔ مقناطیسی اصلی باشد. بنابر این $emf$ القا شــده دارای جهت مخالف $emf$ بتری می‌باشد. این حالت به نسبت تزاید لحظوی جریان برق الی قیمت نهایی حالت تعادل آن بیشـــتر تزاید تدریجی آن را نشـــان می‌دهد. به این سبب است که جهت $emf$ القا شده به نام $emf$ معکوس نیز یاد می‌شود. این اثر به نام اندکشن خودی یاد می‌شود، زیرا فلکس در سرکت تغییر می‌نماید و در نتیجه $emf$ القا شده به وجود می‌آید که خود ســرکت آن‌را تولید می‌نماید. قوهٔ محرکهٔ برقی $\varepsilon_1$ که در این حالت تولید می‌شود، به نام $emf$ القا شده یاد می‌گردد.





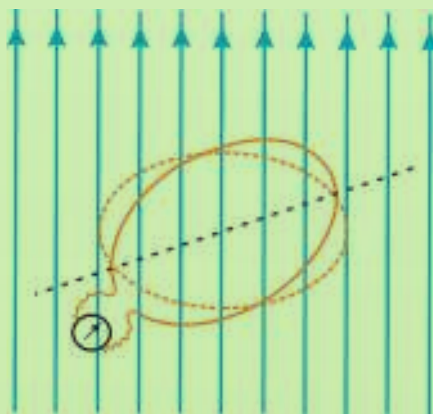
### فعالیت

با اجرای فعالیت ذیل با طریقهٔ دیگری تولید جریان برق القا شده آشنا می‌شویم.

میلهٔ مقناطیسی را در نزدیک یک حلقه بگذارید. بدون این‌که فاصلهٔ میلهٔ مقناطیسی از حلقه تغییر نماید، حلقه را دور بدهید. چیزی را که در گلوانومتر مشـاهده می‌کنید آن را یادداشــت نمایید. شما خواهید دید که با انجام این کار، گلوانومتر یک جریان برق را نشان می‌دهد. علت آن این است که با دور دادن حلقه در بین ساحهٔ مقناطیسی مطابق شکل (5-9) شدت ســاحهٔ مقناطیسی و مساحت حلقه تغییر نمی‌کند، بلکه زاویه بین ساحهٔ مقناطیسی و مساحت تغییر می‌نماید. از این فعالیت نیز نتیجه می‌شود که:

تغییر زاویه بین حلقه و ساحهٔ مقناطیسی نیز عامل ایجاد جریان القا شده می‌گردد.

طرق ایجاد جریان القا شده در یک حلقه طور ذیل خلاصه می‌شود:



شکل (5-9) در زمان دوران حلقه در ساحهٔ مقناطیسی زاویه بین مساحت حلقه و ساحهٔ مقناطیسی

مشـــاهده می‌شود که یا تغییر ســـاحهٔ مقناطیسی در حلقه، تغییر مساحت حلقه و یا با تغییر زاویه بین مساحت و جهت ساحهٔ مقناطیسی، در کوایل جریان برق تولید می‌شود.
حال کمیتی را تعریف می‌نماییم که این ســـه کمیت نام‌برده در آن شـــامل باشد و آن عبارت از فلکس مقناطیسی می‌باشد.

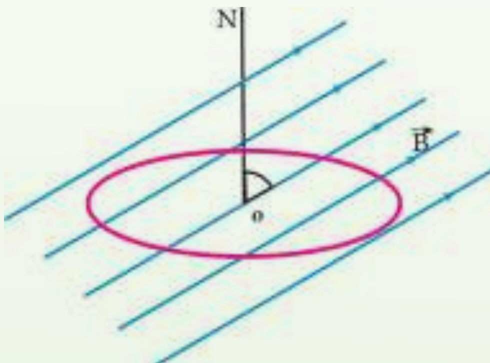
## فلکسی مقناطیسی

فرض نمایید که با مســـاحت A یک حلقه مطابق شـــکل ذیل در ســـاحهٔ منظم B قرار دارد. فلکس مقناطیســـی که از این ســـطح عبور می‌نماید طور ذیل تعریف و توسط $\phi$نشـــان داده می‌شود.

$$\phi = BA\cos\theta$$

در رابطهٔ فوق $\theta$ زاویه بین جهت ساحهٔ مقناطیسی $\vec{B}$ و خط عمود بالای سطح حلقه می‌باشد.
در سیســـتم SI واحد فلکس مقناطیســـی ویبر (Wb) اســـت. از معادلهٔ فوق نتیجه می‌شود که:

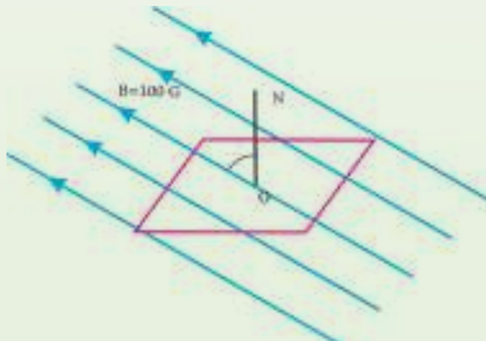
$$1Wb = 1T \times 1m^2$$




شکل (9-6) در یک ساحهٔ مقناطیسی منظم $\vec{B}$ حلقه و عمود N بالای سطح حلقه و $\theta$ زاویه بین عمود N و ساحهٔ مقناطیسی است.

## مثال

الف) فلکس مقناطیسی را از بین سطح حلقهٔ مستطیل شکلی که دارای ابعاد $20cm \times 30cm$ باشد در حالی دریافت نمایید که عمود بالای سطح آن با ساحهٔ مقناطیسی 100 گوس، زاویهٔ $60^\circ$ را تشکیل بدهد.




شکل (9-7)

ب) اگــر ایــن حلقه را طوری دور بدهیم که زاویه بین خط عمود بالای آن و خطوط ســاحۀ مقناطیسی از $60^\circ$ به $30^\circ$ کاهش یابد، تغییر فلکس مقناطیسی را دریافت نمایید.

## حل

الــف) مطابق شــکل، خط ON را بالای ســطح طور عمود رســم نمایید. زاویه بین ســاحۀ مقناطیسی و خط ON، $60^\circ$ است، بنابرین داریم که:

$$A = 30\times 20 = 600cm^2 = 6\times 10^{-2}m^2$$
$$B = 100G = 10^{-2}T$$
$$\phi = BA\cos\theta = 10^{-2}\times 6\times 10^{-2}\cos 60^\circ$$
$$= 3\times 10^{-4}Wb$$

ب) در وضعیت جدید داریم که:

$$\theta' = 30^\circ$$
$$\phi' = BA\cos\theta' = 10^{-2}\times 6,0\times 10^{-2}\cos 30^\circ$$
$$\phi' = 5.2\times 10^{-4}Wb$$

تغییر فلکس به سبب این دوران عبارت است از:

$$\Delta\phi = \phi' - \phi = 5.2\times 10^{-4} - 3\times 10^{-2} = 2.2\times 10^{-4}Wb$$

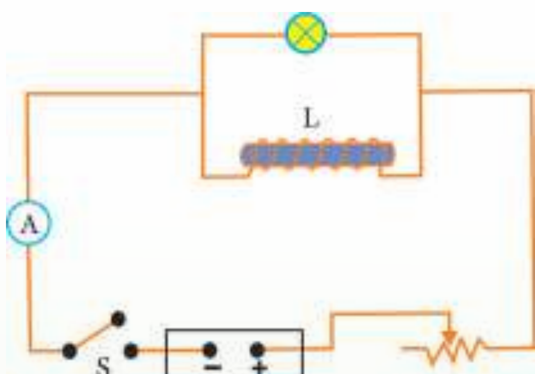
### فعالیت

**هدف**: مطالعۀ تغییر جریان در یک سرکت و ترسیم گراف آن.

**مــواد مورد ضرورت**: یک چراغ 12 ولت، بتری، ریوســتات (مقاومت متغییر)، ســویچ، لین‌های ارتباطی، کوایل (دارای 200 یا 400 حلقه باشد)، هستۀ آهنی

**طرزالعمل**

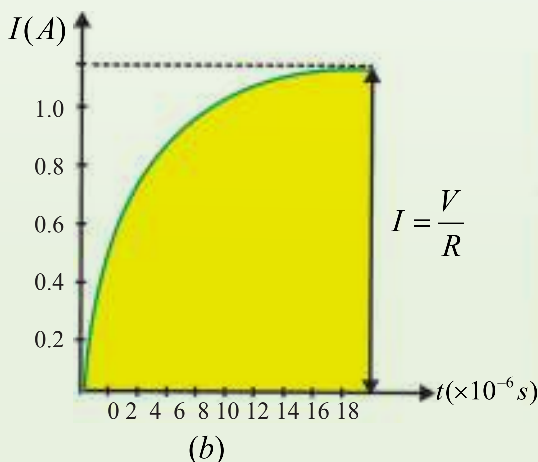
1. سرکت را مطابق شکل ذیل وصل نمایید.
2. ریوستات را طوری تنظیم نمایید که چراغ طور ضعیف روشن گردد.
3. ســویچ را ناگهانی قطع نمایید و مشــاهدات خویش را با گروه خود تحت بحث قرار داده و بعد با هم صنفان خود آن را شریک سازید.



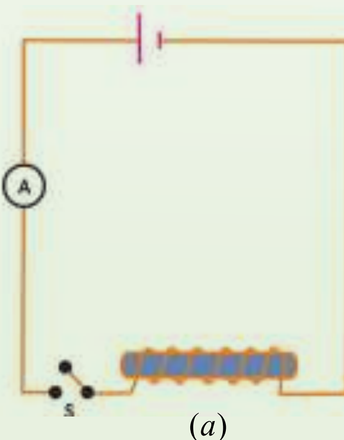
شکل (9-8)

**نتیجه**: چنانکه می‌دانید که تغییر جریان در یک کوایل سبب تولید قوهٔ محرکهٔ برقی در کوایل می‌گردد. تولید قوهٔ محرکهٔ برقی سبب می‌شود که جریان به سرعت به قیمت نهایی خود نرسد. به طور مثال سرکت (9-9) را در نظر بگیرید که در آن یک کوایل با حلقه‌های نسبتاً بیشتری به انجام‌های یک بتری وصل گردیده است.

زمانی‌که سویچ را وصل می‌نماییم جریان به طور ناگهانی به همان اندازه نمی‌رسد که از قانون اوم $(I=\frac{V}{R})$ بدست می‌آید. ازین جا نتیجه می‌شود که در حین وصل سویچ، جریان با تزاید آغاز می‌نماید و قوهٔ محرکهٔ برقی خود در مقابل قوهٔ محرکهٔ برقی بتری القا می‌گردد. در نتیجه جریان در سرکت از حالتی کوچکتر می‌شود که کوایل در سرکت نباشد، یعنی جریان از آن اندازه کوچکتر است که از رابطهٔ $I=\frac{V}{R}$ حاصل می‌شود. با گذشت زمان و با نزدیک شدن جریان به قیمت I چگونه‌گی تغییر جریان بطی می‌گردد. چون جریان برابر به قیمت I گردید بعد از این جریان تغییر نکرده و قوهٔ محرکهٔ برقی صفر می‌شود.



$(b)$

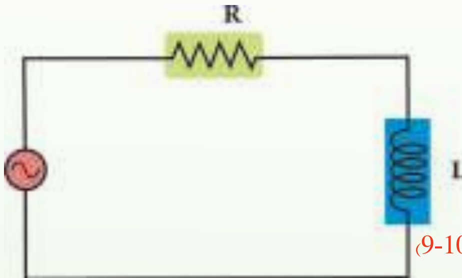


$(a)$

شکل (9-9) در سرکتی که شامل کوایل است اثر کوایل بالای:
a) مقاومت R کوایل.
b) چگونگی تغییر جریان در حین وصل کردن سویچ.

## 9-4: سرکت‌های RL

ســرکتی را در نظر می‌گیریم که شــامل یک مقاومت و یک کوایل باشــد؛ چنانکه در شــکل (9-10) نشان داده شده است. به اساس دیاگرام فاز که در شکل (9-10) رسم گردیده است، ولتیج انجام‌های مقاومت با جریان هم فاز می‌باشد و ولتیج انجام‌های کوایل با جریان به اندازهٔ زاویهٔ $90^\circ$ تفاوت فاز دارد. ولتیج مجموعی عبارت از حاصل جمع وکتوری این فازها می‌باشد. مقدار ولتیج مجموعی عبارت است از:

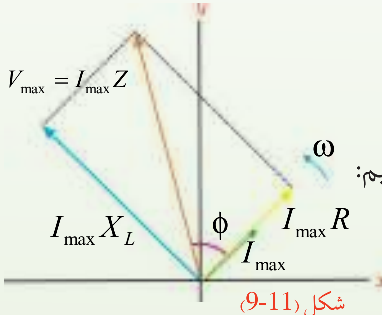


شکل (9-10)

$$V_{max} = \sqrt{(I_{max}R)^2 + (I_{max}X_L)^2}$$
$$= I_{max}\sqrt{R^2 + X_L^2} = I_{max}Z$$

افاده‌یی که در این حالت امپیدنس را تعریف می‌نماید عبارت است از:

$$z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$



شکل (9-11)

واحد امپیدنس اوم است.

برای سرکت RL فکتور طاقت را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

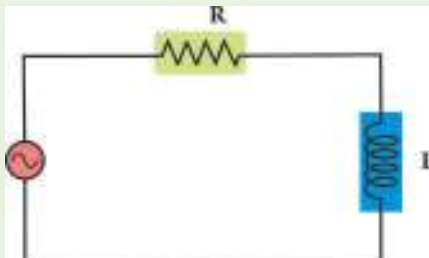
## مثال

کوایلی بــا اندکتیویتی $L = 0.38H$ (هنری) و یک مقاومت $225\Omega$ بــا جنراتور ac که دارای ولتیج $rms$ برابر به $30.0v$، و فریکونسی $60.0Hz$ می‌باشد، طور مسلسل وصل گردیده است.

a) قیمــت $rms$ جریــان را در ســرکت دریافت نمایید.

b) قیمــت $rms$ ولیتــج را در انجامهای مقاومت دریافت نمایید.

c) قیمت $rms$ ولتیــج را در انجام‌های کوایل در یافت نمایید.



شکل (9-12)

شکل نشان می‌دهد که یک جنراتور ac با فریکونسی $60.0Hz$ به صورت مسلسل با مقاومت $22.5\Omega$ و کوایل به اندکتیویتی $0.38H$ وصل گردیده است.

چون در صورت اتصال مسلسل از هر عنصر سرکت عین جریان عبور می‌نماید از این جا *rms* جریان برق در سرکت عبارت است از: $I_{rms} = \frac{v_{rms}}{z}$

در این جا امپیدنس عبارت است از: $z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$

ولتیج *rms* در انجام‌های مقاومت $v_{rmsR} = I_{rms} \cdot R$ است.

ولتیج *rms* در انجام‌های کوایل $v_{rmsL} = I_{rms} \omega L$ می‌باشد.

**حل**

a) نخست امپیدنس سرکت را محاسبه می‌کنیم:

$$z = \sqrt{R^2 + (\omega = 2\pi f\ L)^2}$$
$$= \sqrt{(225\Omega)^2 + \left[2\pi (60.0s^{-1})(0.38H)\right]^2}$$
$$= 267\Omega$$

حال برای دریافت جریان *rms* از z استفاده می‌نماییم.

$$I_{rms} = \frac{v_{rms}}{z} = \frac{30.0v}{267\Omega} = 0.112A$$

b) با ضرب کردن R در $I_{rms}$ ولتیج *rms* را در انجام‌های مقاومت دریافت می‌نماییم:

$$V_{rmsR} = I_{rms} R = (0.112A)\ (225\Omega) = 25.2v$$

c) با ضرب کردن ریکتنس کوایل در $I_{rms}$ و لتیج *rms* را در انجام‌های کوایل حاصل می‌نماییم:

$$v_{rmsL} = I_{rms} X_2 = I_{rms} \omega L$$
$$v_{rms} = (0.112A) 2\pi (60.0s^{-1})(0.38H) = 16.0v$$

## 9-5: انرژی ذخیره شده در کوایل

هر گاه در انجام‌های یک کوایل تفاوت پوتانسیل تطبیق گردد، از طرف منبع به کوایل انرژی داده می‌شود. یک قسمت این انرژی در مقاومت R که با هر سیم می‌باشد، ضایع می گردد





و قســمت با قیماندهٔ آن در ســاحهٔ مقناطیسی کوایل ذخیره می‌شــود که توسط رابطهٔ ذیل حاصل می‌گردد.

$$U = \frac{1}{2} L I^2$$

این انرژی در ســاحهٔ مقناطیســی که به ســبب عبور جریان از کوایل تولید می‌شود، ذخیره می‌گردد.

**مثال:** کوایلی را که دارای ضریب اندکتیویتی 0.4H و مقاومت 100Ω می‌باشد در نظر بگیرید. کوایل با بتری 6v وصل گردیده است. مقدار انرژی ذخیره شده را در کوایل معلوم نمایید.

**حل:**

بعد از این‌که جریان در سرکت به قیمت نهایی خود برسد داریم که:

$$I = \frac{v}{R} = \frac{6}{100} = 0.06\,Amp$$

با استفاده از رابطهٔ (4) فوق، انرژی ذخیره شده در کوایل عبارت است از:

$$U = \frac{1}{2} L I^2$$

$$= \frac{1}{2}(0.4)(0.06)^2 = 7.2 \times 10^{-4}\,Joul$$

## 9-6: **سرکت** RC

یک ســرکت ac را در نظر می‌گیریم که مطابق شــکل (9-13) شامل یک خازن با ظرفیت C و یک مقاومت R باشد.

چنانکه در دیاگرام فازی (9-13) رسم گردیده است، ولتیج انجام‌های خازن با جریان به اندازهٔ زاویهٔ $90^\circ$ تفاوت فاز دارد، طوری‌که ولتیج مجموعی نسبت به جریان تاخیر فاز دارد.

ولتیج مجموعی سرکت عبارت از حاصل جمع وکتوری این فازها می‌باشد.

مقدار ولتیج مجموعی عبارت است از:

$$V_{\max} = \sqrt{(I_{\max} R)^2 + (I_{\max} Xc)^2}$$

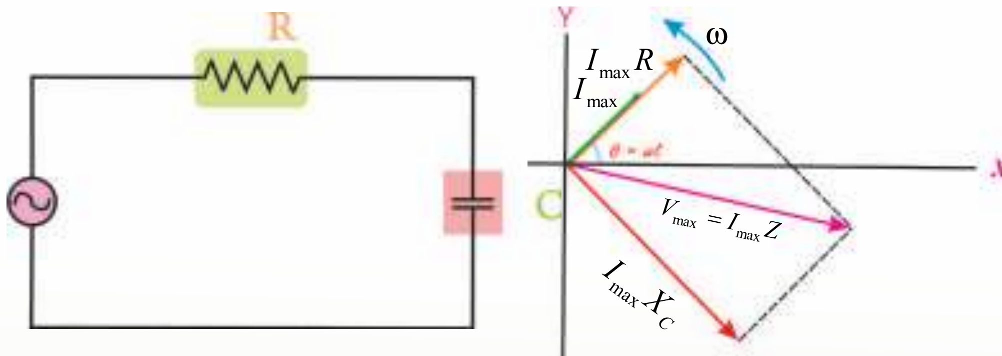
$$= I_{\max}\sqrt{R^2 + Xc^2} = I_{\max} Z$$

افاده‌یی که در این حالت امپیدنس را تعریف می‌نماید عبارت است از:

$$Z = \sqrt{R^2 + xc^2} = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega c})^2}$$








شکل (9-13)

فکتور طاقت متوسط را برای سرکت RC می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$P_{av} = I_{rms} \cdot V_{rms} \cdot \cos\phi$$

و درصورت جریان و خازن:

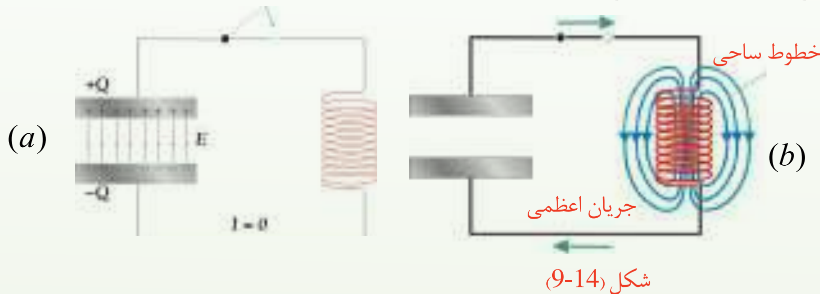
$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega c})^2}}$$

در سرکت جریان و ولتاژ: $\cos\phi = 0$ بوده و با وضع قیمت آن در رابطه: $P_{av} = I_{rms} \cdot V_{rms} \times 0 = 0$ یعنی $P_{av} = 0$ به دست می‌آید.

## 9-7: سرکت‌های LC

ساده ترین سرکتی که بدون جنراتور، یک جریان برقی نوسانی را نشان می‌دهد عبارت از سرکت LC است، یعنی این سرکتی است که بدون یک کوایل و یک خازن چیزی دیگری ندارد؛ طور مثال فرض می‌نماییم که در $t = 0$ یک خازن چارج دار با یک کوایلی وصل می‌گردد که در این لحظه در سرکت جریان برق وجود ندارد؛ چنانکه در شکل (9-14a) نشان داده شده است؛ چون خازن چارجدار است و دارای ولتیج $v = \frac{Q}{c}$ می‌باشد؛ بنابراین سبب جاری شدن جریان در سرکت می‌شود، چنان‌چه در شکل (9-14b) نشان داده شده است. خازن به سرعت از چارج خالی می‌گردد و ولتیج آن به صفر سقوط می‌کند؛ ولی جریان در سرکت جاری خواهد بود؛ زیرا کوایل جریان را در سرکت حفظ می‌نماید. در حقیقت، جریان برق تا زمانی جاری باقی می‌ماند که خازن به صورت مکمل در جهت مخالف به خاطر توقف جریان، چارج گردد، چنان‌چه در شکل (9-14c) نشان داده شده است. در این وقت جریان برق واپس به مسیری جاری می‌گردد که از آن آمده است و حوادث مشابه تکرار می‌گردند، که سبب اهتزازات متواتر جریان می‌شود. این اهتزازات دوام می‌کند زیرا نه کوایل و نه هم خازن انرژی را ضایع می‌کند. این حالت به صورت مکمل مشابه به حالتی است که یک کتله توسط یک فنر در محیطی اهتزاز می‌کند که در آنجا اصطکاک وجود ندارد، چنان‌چه در شکل (9-14) نشان داده شده است. در $t = 0$ خازن بالای لوحه‌های خود دارای چارج Q

می‌باشـــد، یعنی که خازن به اندازهٔ $U_c=\frac{Q^2}{2C}$ ذخیرهٔ انرژی دارد. این حالت مشابه به حالتی اســـت که فنر به اندازهٔ فاصلهٔ x منقبض گردیده و به اندازهٔ $U=\frac{1}{2}k\ x^2$ انرژی پوتانســـیل را ذخیره می‌نماید. بعد از مدتی چارج خازن صفر می‌شـــود؛ بنابراین دارای انرژی نمی‌باشـــد. مگـــر این انرژی ضایع نمی‌گردد، بلکه حال این انرژی در کوایل می‌باشـــد، چیزی که جریان برق I را انتقال می‌دهد و انرژی $U_L=\frac{1}{2}LI^2=U_c$ را ذخیره می‌کند. این حالت در سیستم کتلـــه – فنر مطابقت به وضعیتی می‌نماید که فنر در حالت تعادل واقع باشـــد. در این وقت انرژی مجموعی سیســـتم عبارت از انرژی حرکی کتله $(K_E=\frac{1}{2}mv^2=U)$ می‌باشد و در فنر انرژی ذخیره شده وجود ندارد.




شکل (14-9)

چـــون جریان برق ادامـــه دارد، این جریان خازن را با قطبیت مخالف تا زمانی چارج می‌کند که اندازهٔ چارج آن به Q و ذخیرهٔ انرژی آن به $U_C$ حالتی برسد که در حالت داشتن ظرفیت بزرگ بوده. در سیســـتم کتله – فنر این حالت به همان حالت فنر مطابقت می‌نماید که به اندازهٔ مشابه x انبساط کرده باشد که تمام انرژی ابتدایی را به شکل انرژی پوتانسیل دوباره ذخیره می‌کند؛ بنابراین می‌بینیم که بین خازن، فنر، کوایل و کتله شـــباهت نزدیک وجود دارد. برعلاوهٔ چارج خازن با انبســـاط فنر و جریان در کوایل با سرعت کتله شباهت دارد. به طور مثال انرژی ذخیره شده در کوایل $(\frac{1}{2}LI^2)$ با انرژی حرکی کتله $(\frac{1}{2}mv^2)$ مطابقت دارد. از مقایســـهٔ انرژی پوتانســـیلی فنر $(\frac{1}{2}kx^2)$ و انرژی ذخیره شده در خازن $(\frac{Q^2}{2c})$ می‌بینیم که ســـفتی فنر مشابه $\frac{1}{c}$ اســـت. از این جا نتیجه می‌شود که یک خازن با داشتن ظرفیت بزرگ (c) می‌توانـــد مقدار زیادی چـــارج را ذخیره نماید؛ چنانکه یک فنر با داشـــتن (ثابت قوه‌یی کوچک) می‌تواند با آسانی انبساط نماید ( اگر c بزرگ باشد، پس $k=\frac{1}{c}$ کوچک است).

در سیستم کتله – فنر، فریکونسی طبیعی زاویه‌یی اهتزاز از خواص سیستم تعیین می‌گردد. یعنی:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

در شکل (14-9) فریکونسی طبیعی سرکت LC را می‌توانیم با در نظر داشت این دریافت نماییم که ولتیج $rms$ انجام‌های خازن c باید مساوی به ولتیج $rms$ انجام‌های کوایل باشد.
این شرط را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$V_{emsC} = V_{rmsL}$$

$$I_{rms}X_c = I_{rms}X_L$$

$$I_{rms}\left(\frac{1}{\omega c}\right) = I_{rms}(\omega L)$$

برای ω دریافت می‌نماییم که:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{Lc}} = 2\pi f \text{..................}(24-10)$$ [فریکونسی طبیعی سرکت $LC$]

واحد آن در SI، $s^{-1}$است.
اگر تبدلات ذیل را به وجود آوریم $m \to L$ او $k \to \frac{1}{c}$، می‌توانیم دریافت نماییم که:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

مشابهت سیستم کتله- فنر و سرکت Lc در جدول ذیل نشان داده شده است.

## جدول: مشابهت بین سیستم کتله - فنر و سرکتLC.

| سیستم کتله – فنر | سرکت LC |
|---|---|
| موقعیت X<br>سرعت $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$<br>کتله M<br>ثابت قوه وی K<br>فریکونسی طبیعی $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ | چارج Q<br>جریان برق $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$<br>اندکتنس L<br>معکوس ظرفیت $\frac{1}{c}$<br>فریکونسی طبیعی $\omega = \sqrt{\frac{1}{Lc}}$ |





**تمرین**

می‌خواهیم که فریکونسی طبیعی یک سرکت LC را با استیشن رادیویی FM وصل نماییم که سـکنال $88.5MHz$ را پخش می‌نماید. اگر در این سـرکت با $1.5\mu Hz$ یک کوایل به‌کار برده شـده باشـد، به کـدام ظرفیت خازن ضرورت می‌باشد.

**حل:** از رابطهٔ $\omega = \frac{1}{\sqrt{Lc}}$ برای ظرفیت دریافت می‌نماییم که:

$$c = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 88.5 \times 10^6 s^{-1})^2 (1.50 \times 10^{-6} H)}$$

$$= 2.16 \times 10^{-12} F$$

## 9-8: **القای متقابل**

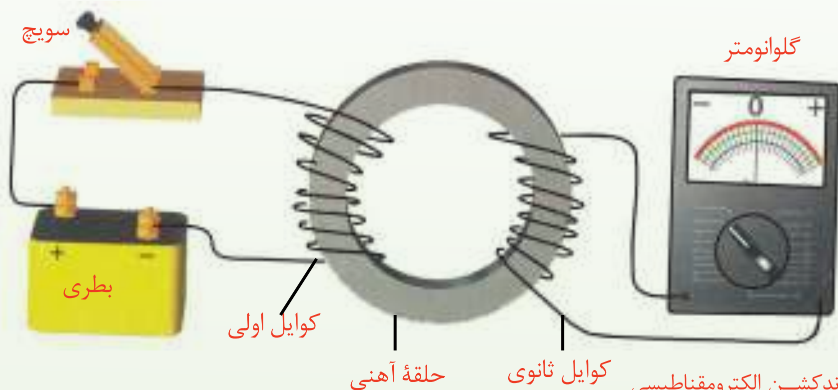
اصول اساسـی اندکشـن الکترومقناطیسـی مرتبهٔ اول توسـط میخایل فارادی (Michael Faraday) تشـریح شد. از آلات تجربی که موصوف اسـتفاده کرده است، در شکل (9-15) نشان داده شده است. این آلات یک کوایل بوده که با سویچ وصل گردیده و یک بتری است که عوض مقناطیس غرض تولید سـاحهٔ مقناطیسی به‌کار برده شده است. این کوایل به نام کوایل اولی یاد می‌شـود و سـرکت آن به نام سـرکت اولی یاد می‌گردد. ساحهٔ مقناطیسی توسـط خاصیت مقناطیسـی حلقهٔ آهنی که در اطراف آن کوایل اولی پیچانیده شده است قـوی می‌گردد. کوایل دومی‌در طـرف دیگر حلقهٔ آهنی پیچانیده شـده و با یک گلوانومتر وصل گردیده است. زمانی‌که ساحهٔ مقناطیسی کوایل اولی تغییر می‌نماید، یک قوهٔ محرکهٔ برقی ($emf$) در کوایل دوم تولید می‌گردد. وقتی‌که سویچ در کوایل اول وصل شود، عقربهٔ گلوانومتر در سرکت دوم به یک جهت انحراف می‌نماید و بعد به صفر بر می‌گردد. زمانی‌که در سرکت اول جریان برق ثابت باشد عقربهٔ گلوانومتر صفر خوانده می‌شود.

پیشگویی مقدار این $emf$ به اساس قانون اندکشن فارادی صورت می‌گیرد، می‌توانیم قانون فارادی را طوری بنویسـیم که $emf$ تولید شده در کوایل اول متناسب با تغییر جریان است. این کار را انجام داده می‌توانیم، زیرا بین سـاحهٔ مقناطیسـی تولید شـده توسط جریان در کوایل یا سـولینویید و خود جریان تناسـب مسـتقیم وجود دارد. قانون فارادی از اثر تغییر جریان در سرکت اول شکل ذیل را دارد.

$$emf = -N\frac{\Delta\phi_M}{\Delta t} = -M\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

ثابت M به نام اندکتنس متقابل سیســتم دو کوایل یاد می‌شود. اندکتنس متقابل کوایل‌ها مربوط به خواص هندسی و موقعیت‌های شان نسبت به یکدیگر می‌باشد. یک جریان متغیر در کوایل دوم نیز یک *emf* را در سرکت اول تولید می‌نماید. در حقیقت زمانی‌که در کوایل دوم جریــان تغییــر می‌نماید، *emf* تولید شــده در کوایل اول با داشــتن عین قیمت M از معادلهٔ مشابه پیروی می‌کند.

*emf* تولید شــده در کوایل دوم، با تغییر تعداد حلقه‌های کوایل دوم تغییر کرده می‌تواند. این ترتیب اســاس یک آلهٔ برقی خیلی مفید را تشــکیل می‌دهد که به نام ترانســفارمر یاد می‌شود و بعد آن‌را مطالعه می‌نماییم.




شــکل (9-15) تجربهٔ اندکشــن الکترومقناطیسی فارادی

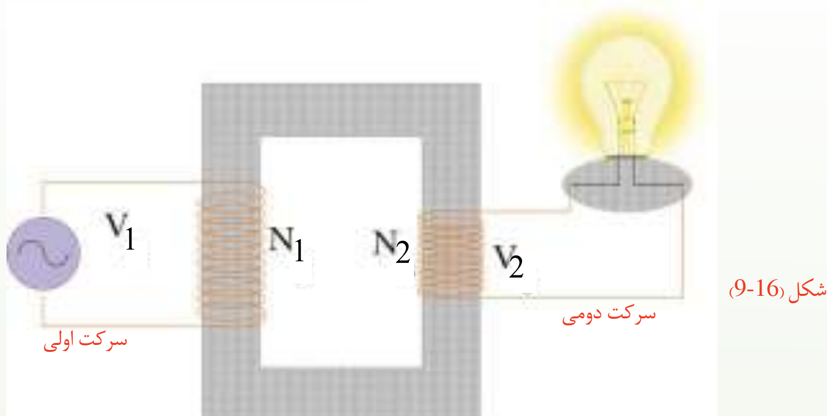
تغییر جریان برق در یک سرکت برای تولید جریان برق در سرکت به‌کاربرده می‌شود.

## 9-9: ترانسفارمر

اکثراً ضرورت واقع می‌شــود که یک emf کوچکتر ac به emf بزرگتر تبدیل گردد، یا یک emf تطبیق شــدهٔ بزرگتر به emf کوچکتر تبدیل شــود. آله یی که این تبدیلات را ممکن می‌سازد عبارت از ترانسفارمر است.

شکل خیلی سادهٔ آن یک ترانسفارمر ac است که مشابه به و سایل تجربهٔ فارادی، در اطراف یک هســتهٔ آهنی نرم از پیچانیدن ســیم دو کوایل ساخته می‌شود. در شکل (9-16) طرف چپ که دارای $N_1$ حلقه اســت به یک منبع تفاوت پوتانســیل ac وصل می‌گردد. این کوایل

به نام حلقه‌های اولی یا کوایل اولی یاد می‌شـــود. کوایل طرف راســـت که با مقاومت R وصل می‌شـــود و دارای حلقه‌های $N_2$ می‌باشـــد به نام حلقه‌های دومی‌یـــاد می گردد؛ مانند تجربهٔ فارادی، هستهٔ آهنی تقریباً تمامی‌خطوط ساحهٔ مقناطیسی را طوری یک‌جا می‌نمایید که از هر دو کوایل عبور نماید.




شکل (16-9)

چون شـــدت ساحهٔ مقناطیسی در هستهٔ آهنی و مقطع عرضی هسته برای هر دو حلقه اولی و دومی‌مشـــابه اند، پس مقدار تفاوت پوتانســـیل‌های ac در انجام‌هـــای هر دو حلقه تنها به ســـببی تفاوت می‌نماید که تعداد حلقه‌های کوایل‌ها متفاوت می‌باشد emf تطبیق شده که در حلقه‌های اولی سبب به وجود آمدن ساحهٔ مقناطیسی متغییر می‌شود، با ساحهٔ متغیر به اساس قانون اندکشن فارادی رابطه دارد.

$$\Delta v_1 = -N_1 \frac{\Delta\phi_M}{\Delta t}$$

به عین ترتیب، emf تولید شده در انجام‌های کوایل دومی‌عبارت است از:

$$\Delta v_2 = -N_2 \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

نسبت $\Delta v_2$ بالای $\Delta v_1$ سبب می‌شود که تمام حدود طرف راست هر دو معادله به استثنای $N_1$ و $N_2$ اختصار گردد. معادلهٔ ذیل حاصل شده عبارت از معادلهٔ ترانسفارمر است.

$$\Delta v_2 = \frac{N_2}{N_1} \Delta v_1 \quad \text{(معادله ترانسفارمر)}$$

$$\text{emf تطبیق شده در کوایل اول} \times \frac{\text{تعداد حلقه‌های کوایل دوم}}{\text{تعداد حلقه‌های کوایل اول}} = \text{تولید شده در کوایل دوم } emf$$

طریق دیگر نشان دادن این معادله این است که نسبت تفاوت پوتانسیل‌ها مساوی به نسبت تعداد حلقه‌ها وضع شود.

$$\frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

اگر $N_2$ نسبت به $N_1$ بیشتر باشد، emf انجام‌های کوایل دومی‌نسبت به کوایل اولی بیشتر می‌باشد، و این نوع ترانسفارمر به نام ترانسفارمر افزاینده (step- up transformer) یاد می‌نمایند. اگر $N_2$ نسبت به $N_1$ کمتر باشد، emf انجام‌های کوایل دومی‌نسبت به کوایل اولی کوچک‌تر بوده و این نوع ترانسفارمر به نام ترانسفارمر کاهش دهنده (step- down transformer) یاد می‌شود. از این جا دیده می‌شود که یک ترانسفارمر بعضی کمیات را طور رایگان تهیه می‌نماید؛ طور مثال یک ترانسفارمر افزاینده می‌تواند emf تطبیق شده را از 10v به 100v بلند ببرد طوری‌که طاقت خروجی از کوایل دوم مساوی به طاقت ورودی به کوایل اولی می‌باشد. در حقیقت انرژی به شکل حرارت و تشعشع ضایع می‌شود؛ بنابراین طاقت خروجی نسبت به طاقت ورودی کوچکتر خواهد بود. تزاید emf تولید شده در کوایل دوم به این معنی است که در آن باید در جریان یک کاهش متناسب صورت بگیرد.

**مثال:** از یک ترانسفارمر افزاینده در لین *120v* استفاده می‌شود تا تفاوت پوتانسیل *2400v* تهیه نماید اگر کوایل اولی دارای 75 حلقه باشد کوایل دومی‌باید دارای چند حلقه باشد؟

**حل:**

کمیت‌های معلوم: $\Delta v_1 = 120v \ , \ \Delta v_2 = 2400v \ , \ N_1 = 75 turns$

کمیت مجهول: $N_2 = ?$

یک حالت را انتخاب نمایید: از معادلهٔ ترانسفارمر استفاده نمایید:

$$\Delta v_2 = \frac{N_2}{N_1}\Delta v_1$$



شکل (17-9)

برای دریافت کمیت مجهول معادله را دوباره بنویسید:

$$N_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} N_1$$

قیمت‌های مربوط را در معادله وضع و آن‌را حل نمایید:

$$N_2 = (\frac{2400v}{120v})75turns = 1500turns$$

$$N_2 = 1500turns$$

ازدیاد حلقه‌ها در کوایل دومی‌نشـــان می‌دهد که emf در کوایل دوم بیشـــتر است و ضریب افزایندهٔ ترانسفارمر 20:1 می‌باشد.

## 9-10: **جنراتورها** (*Generators*)

شـــما می‌دانید که در یک ســـرکت، جریان برق می‌تواند یا توسط تغییر ساحهٔ مقناطیسی و یا توســـط حرکت سرکت در داخل یا خارج ساحهٔ مقناطیسی تولید گردد. طریق دیگر تولید جریان برق عبارت از تغییر موقعیت حلقه نســـبت به ساحهٔ مقناطیسی می‌باشد. طریقهٔ دوم بـــرای تولید جریان برق طریق عملی تولید انرژی برقی را نشـــان می‌دهد. در حقیقت انرژی میخانیکـــی که برای چرخانیدن حلقه به‌کاربرده می‌شـــود، به انـــرژی برقی تبدیل می‌گردد. آله‌یی که این تغییر را انجام می‌دهد. به نام جنراتور برقی یاد می‌شود. در بیشتر دستگاه‌های تجارتی طاقت، انرژی میخانیکی به شـــکل انرژی دورانی تهیه می‌شود؛ طور مثال در دستگاه تولید برق آبی، آب از یک ارتفاع بالای پره‌های توربین طور مستقیم سقوط می‌کند و سبب دوران توربین می‌شـــود. در دســـتگاه‌های تولید برق حرارتی از زغال ســـنگ و گاز طبیعی به حیث مواد ســـوخت به خاطر تبدیل آب به بخار اســـتفاده می‌شـــود و این بخار برای دوران توربین مستقیماً بالای پره‌های توربین وارد می‌گردد.

اســـاس یک جنراتور را حرکت دورانی یک توربین به خاطر چرخانیدن حلقهٔ ســـیم در یک ساحهٔ مقناطیسی تشکیل می‌دهد. یک جنراتور ساده در شکل (9-18) نشان داده شده است. زمانی‌که حلقه می‌چرخد مســـاحت مؤثر حلقه نســـبت به وقت تغییر می‌نماید، و در سرکت خارجی که در انجام‌های حلقه وصل گردیده است، یک emf و جریان برق را تولید می‌نماید. یـــک جنراتـــور به صورت متمادی یک جریان متغیر را تولید می‌کند. حلقه‌یی از ســـیم را در نظر می‌گیریم که با سرعت زاویوی ثابت در یک ساحهٔ مقناطیسی منظم می‌چرخد. می‌تواند حلقه متشکل از چهار سیم‌هادی باشد.





در این مثال حلقه در ساحهٔ مقناطیسی در جهت مخالف عقربهٔ ساعت می‌چرخد که جهت آن به طرف چپ است.

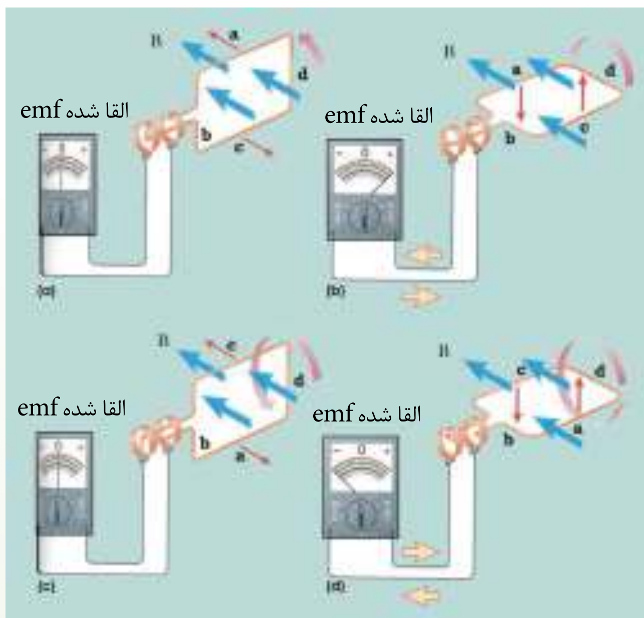


شکل (9-18) در یک جنراتور ساده، از اثر چرخیدن حلقه‌های هادی در یک ساحهٔ مقناطیسی، در حلقه‌ها جریان متناوب برق تولید می‌شود.

زمانی‌که مساحت حلقه بالای خطوط ساحهٔ مقناطیسی عمود باشد؛ چنانکه در شکل (9-19) نشان داده شده است، هر قسمت سیم در حلقه با خطوط ساحهٔ مقناطیسی طور موازی حرکت می‌نماید. در این لحظه ساحهٔ مقناطیسی بالای چارج‌های هر قسمت سیم قوه وارد نمی‌کند.
بنابر این در هر قسمت، emf القا شده صفر است. زمانی‌که چرخش حلقه از این موقعیت عبور می‌کند، قسمت‌های a و c خطوط ساحهٔ مقناطیسی را قطع می‌کند؛ بنابراین قوهٔ مقناطیسی بالای چارج‌های این قسمت‌ها عمل می‌نماید و به این سبب emf القا شده بیشتر می‌گردد. جهت قوهٔ مقناطیسی بالای چارج‌های قسمت‌های b و d از سیم به طرف خارج است؛ بنابراین حرکت این قسمت‌ها emf و جریان را حمایت نمی‌کند.
بالای چارج‌ها بزرگ‌ترین قوهٔ مقناطیسی و کوچکترین emf در لحظه‌یی واقع می‌گردد که قسمت‌های a و c بالای خطوط ساحهٔ مقناطیسی طور عمود حرکت می‌نماید، چنان‌چه در شکل (9-19) نشان داده شده است. این حالت زمانی واقع می‌شود که مستوی حلقه با خطوط ساحه موازی باشد.
چون قسمت a در ساحه به طرف پایین حرکت می‌نماید درحالی‌که قسمت c به طرف بالا می‌رود، پس emfهای آن‌ها دارای جهات مخالف می‌باشند، مگر هر دو، جریانی در جهت مخالف عقربهٔ ساعت تولید می‌کنند. تا وقتی‌که حلقه به دوران ادامه می‌دهد، قسمت‌های a و c کمترین خطوط را قطع می‌نماید و emf کوچک می‌شود. زمانی‌که مستوی حلقه بالای ساحهٔ مقناطیسی عمود می‌شود، حرکت قسمت‌های a و c بار دیگر با خطوط ساحهٔ مقناطیسی موازی می‌گردند و emf القا شده یک بار دیگر صفر می‌شود، طوری‌که در شکل (9-19) نشان داده شده است. حال قسمت‌های a و c در جهات مخالف همان موقعیت‌ها در حرکت می‌باشند که در حالات a و b داشت. در نتیجهٔ قطبیت، emf القا شده و جهت جریان در جهت مخالف تغییر می‌نماید. چنان‌چه در شکل (9-19) نشان داده شده است

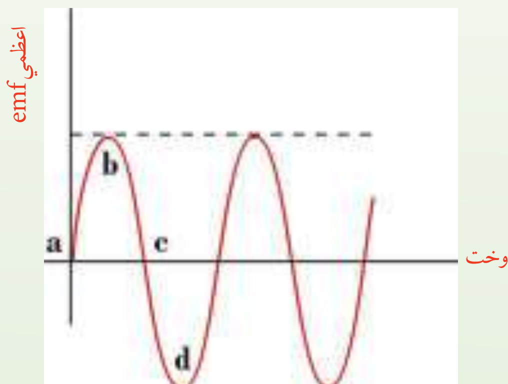







شکل (9-19) در ساحهٔ مقناطیسی برای حلقهٔ دورانی، emf القا شده زمانی صفر است که حلقه بالای ساحه عمود باشد، مانند حالات a و c و قیمت اعظمی را دارد زمانی‌که حلقه با ساحه موازی باشد. چنان‌چه در حالت‌های b و d نشان داده شده است.

زمانی‌که حلقه می‌چرخد، گراف تغییر emf به تابع وقت در شکل (9-20) نشان داده شده است. گفتنی است که بین این گراف و منحنی ساین (sin) شباهت وجود دارد. چهار محل نشانی شده بالای منحنی شکل (9-19) با چهار موقعیت حلقه نسبت به ساحهٔ مقناطیسی مطابقت می‌نماید.
در موقعیت‌های a و c *emf* صفر است. این موقعیت‌ها به همان لحظه‌یی مطابقت می‌کند که مستوی حلقه با جهت ساحهٔ مقناطیسی موازی باشد، در موقعیت‌های b و d، *emf* دارای قیمت‌های اعظمی و اصغری خود می‌باشد.
این موقعیت‌ها با لحظاتی مطابقت می‌کند که مستوی حلقه بالای ساحهٔ مقناطیسی عمود باشد. *emf* القا شده در حلقه در نتیجهٔ تغییر




شکل (9-20) در حلقهٔ دورانی تغییر القا شده نسبت به وقت توسط یک موج سینوسایدل مانند نشان داده می‌شود.
حروف c،b،a و d بالای منحنی با موقعیت‌های حلقه در شکل مطابقت می‌نماید.

ثابت زاویه بین عمود بالای حلقه و خطوط ساحهٔ مقناطیسی حاصل می‌شود. معادله برای emf تولید شده را توسط جنراتور می‌توانیم از قانون اندکشن فارادی به دست آرویم. در این معادله(emf) زاویهٔ موقعیت نسبی توسط افادهٔ معادل آن ($\omega L$) تعویض گردیده است.
در این‌جا $\omega$ فریکونسی زاویوی موقعیت نسبی $2\pi f$ می‌باشد.

$$emf = NAB\omega \sin \omega t$$

معادلهٔ فوق مانند گراف شکل (20-9) تغییر سینوسایدل emf را نسبت به وقت نشان می‌دهد. با آسانی می‌توانیم قیمت اعظمی emf را برای یک تابع سینوسایدل محاسبه نماییم. emf زمانی قیمت اعظمی را دارد که مستوی حلقه با ساحهٔ مقناطیسی موازی باشد، یعنی زمانی‌که $\sin \omega t = 1$ باشد. از این‌جا $\omega t = \theta = 90^\circ$، می‌باشد. در این حالت افادهٔ فوق شکل ذیل را اختیار می‌نماید:

$$emf_{\text{اعظمی}} = NAB\omega$$

گفتنی است که emf اعظمی، تابع چهار کمیت می‌باشد، که آن‌ها عبارت اند از:
تعداد حلقه‌ها (N)، مساحت حلقه(A)، ساحهٔ مقناطیسی (B) و فریکونسی زاویوی دورانی ($\omega$) .

## جهت جریان متناوب با فریکونسی ثابت تغییر می‌نماید

گفتنی است که در شکل (20-9) emf از مثبت به منفی تبدیل می‌گردد. در نتیجه، جریان خروجی از جنراتور جهت خود را طور منظم تغییر می‌دهد. این نوع جریان برق به نام جریان متناوب (alternating current) یا ac یاد می‌شود.
در یک جنراتور ac اندازهٔ دوران‌های کوایل قیمت اعظمی emf تولید شده را تعیین می‌نماید. فریکونسی جریان متناوب یک کشور نسبت به کشور دیگر تفاوت دارد. در آیالات متحده، کانادا و امریکای مرکزی برای جنراتورهای تجارتی، فریکونسی دارای $60Hz$ است. این چنیین معنی می‌دهد که جهت یک سایکل مکمل emf در هر ثانیه 60 مرتبه تغییر می‌نماید. در انگلستان، اروپا و تعداد بیشتر کشورهای آسیایی و افریقایی $50Hz$ به کار برده می‌شود، $\omega = 2\pi f$ است و فریکونسی f توسط $Hz$ اندازه می‌شود).





# خلاصهٔ فصل

• در اثر حرکت میلهٔ مقناطیسی نسبت به کوایل در کوایل جریان تولید می‌گردد. این واقعه را القای الکترومقناطیسی و جریان تولید شده را جریان القا شده برقی می‌گویند.

• عبور خطوط ساحهٔ مقناطیسی از مساحت یک حلقه عبارت از فلکس مقناطیسی است، پس در نتیجهٔ تغییر فلکس نظر به زمان در حلقه، قوهٔ محرکهٔ برقیی تولید می‌شود که به نام قوهٔ محرکه برقی (emf) القا شده یاد می‌شود.

• فلکس مقناطیسی که از یک سطح عبور می‌کند طور ذیل تعریف و توسط حرف $\phi$ نشان داده می‌شود. $\phi = AB\cos\theta$

در این‌جا $\theta$ زاویه بین جهت ساحهٔ مقناطیسی $\vec{B}$ و خط عمود بالای سطح حلقه می‌باشد.

• انرژیی که در ساحهٔ مقناطیسی کوایل ذخیره می‌شود، توسط رابطهٔ ذیل به دست می‌آید.

$$Uc = \frac{1}{2}LI^2$$

• انرژیی که در ساحهٔ برقی خازن ذخیره می‌شود، توسط رابطهٔ ذیل حاصل می‌گردد:

$$Uc = \frac{Q^2}{2C}$$

• آله‌یی که یک emf کوچکتر ac را به emf بزرگتر یا یک emf تطبیق شدهٔ بزرگتر را به emf کوچکتر تبدیل می‌نماید عبارت از ترانسفارمر است.

• آله‌یی که انرژی میخانیکی را به انرژی برقی تبدیل می‌نماید به نام جنراتور یاد می‌شود.





# سؤالات اخیر فصل

1.تفاوت بین فلکس مقناطیسی و ساحۀ مقناطیسی چیست؟

2.یک حلقه‌یی از سیم در بین ساحۀ مقناطیسی قرار دارد؛ برای کدام موقعیت حلقه، فلکس اعظمی‌است؟ و برای کدام موقعیت، فلکس صفر است؟

3. یک کوایل مستطیل شکل که دارای 50 حلقه و $50cm \times 10.0cm$ ابعاد می‌باشد از محلی که $B = o$ اســت به محلی که $B = 0.500T$ است طوری سقوط می‌نماید که جهت ساحۀ مقناطیســی بالای مستوی حلقه عمود می باشــد؛ اگر این تغییر مکان برای مدت $0.250s$ صورت بیگیرد، قوۀ محرکۀ برقی القا شدۀ وسطی را در کوایل محاسبه نمایید.

4. یک الکترومقناطیس قوی بالای مساحت مقطع عرضی $0.200m^2$ یک ساحۀ مقناطیسی منظــم $1.60T$را تولید می‌نماید. یک کوایلی‌کــه دارای 200 حلقه و به صورت کل $20.0\Omega$ مقاومت دارد در اطراف الکترومقناطیس گذاشــته می‌شود. بعد در الکترومقناطیسی جریان برق را کاهش می‌دهیم تا این‌که در مدت $20.0s$ به صفر برســد. جریان برق القا شده را در کوایل دریافت نمایید.

5. یــک کوایل که دارای مســاحت $0.10m^2$ می‌باشــد، با $60.0\frac{rev}{sec}$ در اطــراف محوری می‌چرخد که بالای ساحۀ مقناطیسی $0.200T$عمود باشد.

a) اگــر کوایــل دارای 1000 حلقه باشــد، emf تولید شــدۀ اعظمــی را در کوایل دریافت نمایید؟

b) زمانی‌که ولتیج تولید شده اعظمی باشد، مستوی کوایل نسبت به ساحۀ مقناطیسی دارای چگونه موقعیت می‌باشد؟





| کمیت فزیکی | واحد و اسم خاص آن | کمیت فزیکی | واحد و اسم خاص آن |
|---|---|---|---|
| قوه | نیوټن $(kg\,m/s^2)$ | مساحت | متر مربع $m^2$ |
| فریکونیسی | هرتز $s^{-1}$ | حجم | متر مکعب $m^3$ |
| فشار(STRESS) | پاسکال $\frac{N}{m^2}$ | سرعت | متر پر ثانیه $m/s$ |
| انرجی، کار، مقدار حرارت | ژول $(kg\,m^2/s^2)$ | کثافت | کیلوگرام فی متر مکعب $kg/m^3$ |
| قدرت | وات $(kg\,m^2/s^3)$ | حجم مخصوص | مترمکعب فی کیلوگرام $m^3/kg$ |
| چارج برقی | کولمب $C$ | کثافت جریان | امپیر فی متر مربع $A/m^2$ |
| تفاوت پوتانسیل برقی (قوۀ محرکۀ برقی) | ولت $m^2.kg.s.^{-3}A^{-1} = \frac{W}{A}$ | شدت ساحۀ مقناطیسی | امپیر فی متر $A/m$ |
| ظرفیت | فاراد $(m^{-2}.kg^{-1}.s^4.A^2)$ | مقدار تمرکزیت یک ماده | مول فی مترمکعب $mol/m^3$ |
| مقاومت برقی | اوم $m^2.kg.s^{-3}.A^{-2}$ | قدرت روشنی | کندیلا فی متر مربع $cd/m^2$ |
| درجۀ سانتی گرید | $C^\circ$ | فلکس مقناطیسی | ویبر $(W_b)$ = مترمربع × تسلا $(m^2.kg.s^{-2}.A^{-1})$ |
| شدت روشن | کندیلا $cd$ | شدت فلکس مقناطیسی | تسلا $(Kg\cdot s^{-2}\cdot A^{-1})$ |
| زاویۀ مسطحه | رادیان $m.m^{-1}$ | اندکشن(القا) (L) | واحد L: $H = \frac{1v\cdot s}{A}$ = هنری $(m^2 kg.s^{-2}.A^{-2})$ |





# مأخذ

1. PHYSICS (PRINCIPLES WITH APPLICATIONS), by Douglas C. Gain Coli, Published by Pearson Education Inc, 2005.

2. PHYSICS by James S. Walker, Pearson Education Inc. USA, New Jersey, 2004

3. PHYSICS by R.A. Serwey and J.S. Faughn, 2006 by Holt, Rin - hart and Winston.

4. PHYSICS, A Text book, published by Surat Publishing Co - pany, Printed in TURKEY, 1996.

5. Physics for Scientists and Engineers, by Raymond- A. Serway, Thomsan Asia PTE. LTD, 2003

6. Physics 3 (OPTICS), by Mehmet Ali YAZ, SURAT Publication, ISTANBUL, 1996

7. کتاب درسی فزیک صنف یازدهم مکاتب تعلیمات عمومی، ریاست تألیف و ترجمه، وزارت معارف، کابل، 1381. هـ.ش.

8. اصول فزیک (جلد اول)،هانس سی. اوهانیان، مرکز نشر دانشگاهی، تهران،1383 هـ.ش.

9. فزیک (1) وازمایشگاه، شورای برنامه ریزی و تألیف سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی، وزارت آموزشی و پرورش ایران،1386 هـ.ش.

10. فزیک (3) و آزمایشگاه، سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، 1385 هـ ش.



